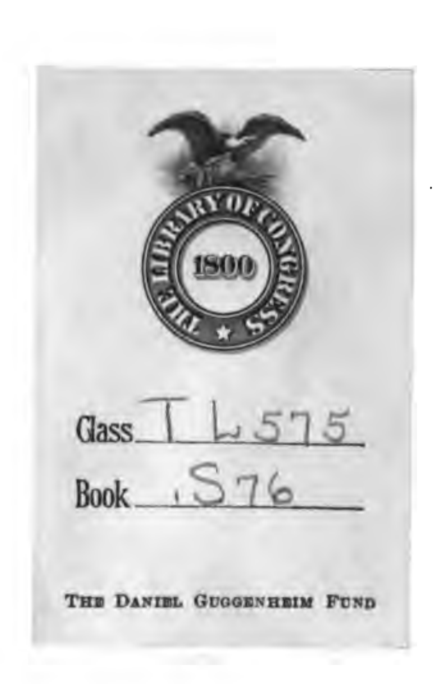


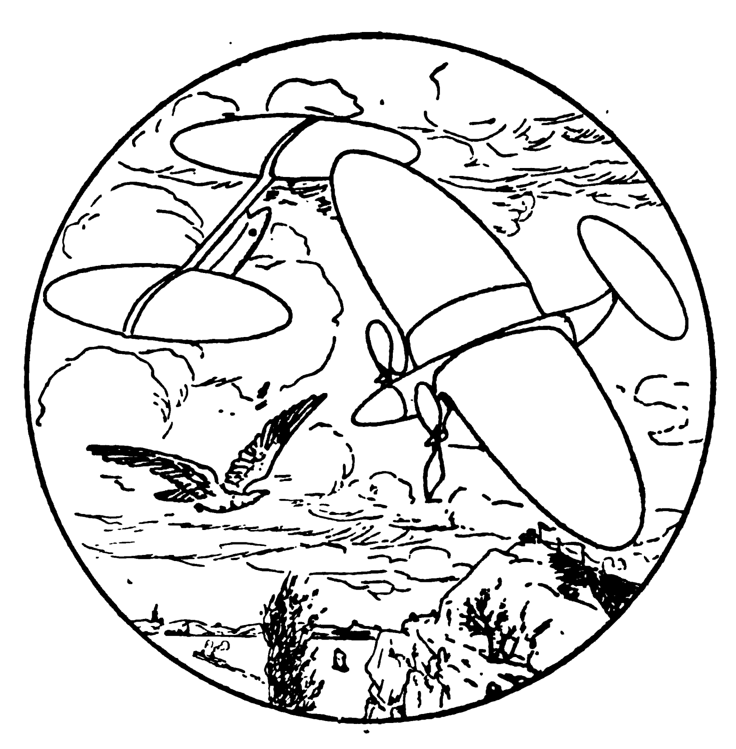

THE LIBRARY OF CONGRESS
1800
Class TL575
Book .S76
THE DANIEL GUGGENHEIM FUND



Vogelflug und Flugmaschine

von

CARL STEIGER.



Mit 16 Tafeln.

MÜNCHEN 1891.

G. Franz'sche h. b. Hofbuchhandlung

Hermann Lukaschik.

INHALTS-VERZEICHNISS.



I. EINLEITUNG.

Vorwort — Einige Erfindungen — Zwei Behauptungen Graffigny's — Gewicht und Flügelgrösse verschiedener Flieger.



„Schon wieder eine Schreiberei über dieses so oft fruchtlos bearbeitete Feld!“ Lasse man uns endlich damit in Ruhe oder bringe man ausgeführte Ergebnisse wird Derjenige ausrufen, dessen Kopf in der niedern und höhern Schule mit einer Reihe fertiger Resultate aus allen Gebieten des Wissens wohl versehen wurde, der sich aber selten darüber Rechenschaft zu geben suchte, welche Mühe, wie viel Umwege und Kopfzerbrechen die Herstellung und Auffindung eines einzigen Gliedes dieser grossen Kette, mit welcher er so gerne zu rasseln beliebt, erfordert hat.

Er beachtet nicht, wie bei Problemen dieser Art anfänglich das durch die Phantasie angeregte Wollen zum Vorschein kommt, hierauf nach vielen vergeblichen Anläufen die Einsicht sich Bahn bricht, dass zuerst Erkenntniss nöthig sei, um dem vorschwebenden Ziele näher zu rücken und erst auf dieser aufbauend, das Ersehnte erreicht werden könne.

Die Periode des Wollens auf dem Gebiete der Flugtechnik dauerte Jahrhunderte. Seit nicht sehr langer Zeit hat diejenige der Erkenntniss begonnen. Eine grosse Anzahl der tollsten und zugleich sinnreichsten Erfindungen kam zu Tage. Die Wenigsten brachten es zum Fliegen; war es aber der Fall, so ergab sich eine äusserst kurze Flugzeit. Die Kraftquelle (comprimirte Luft, überhitzter Dampf, gespannte Federn, aufgerollter Kautschuk) versiegte immer sehr rasch.

Aus dem Werke Graffigny's*) kann man entnehmen, dass Professor Forlanini aus Mailand i. J. 1878 einen Apparat baute, welcher, mit einer Steigeschraube und einem durch gespannten Dampf getriebenen Motor versehen, sich bis zu einer Höhe von 15 Meter in die Luft erhob.

Dr. Hureau de Villenenoe erfand 1875 eine Art mechanischen Vogel, der, durch gedrehten Kautschuk in Bewegung gesetzt, sehr gut funktionirte. Die Geschwindigkeit dieses Fliegers betrug bei ruhigem Wetter 9 Meter per Sekunde.

Mit einer Aeroplane**) von Tatin wurden im Jahre 1879 Versuche in Meudon angestellt. Derselbe verliess mit einer Geschwindigkeit von 8 Meter den Boden. Die beiden am Vordertheile des Apparates angebrachten Propellerschrauben wurden durch comprimirte Luft getrieben. Es dürfte dies als der gelungenste der bisherigen Versuche betrachtet werden.

Der Leser, welcher sich eingehend mit der folgenden Abhandlung beschäftigt, wird bald zu der Einsicht gelangen, warum diese Versuche keinen grösseren Erfolg hatten. Es wird ihm klar werden, dass die Lösung der Flugfrage nicht in geheimnissvollen, absonderlich constructiven Funktionen zu suchen sei, sondern hauptsächlich darauf beruhe, zu erkennen, was für statische und dynamische Vorgänge zwischen der Luft und den sich bewegenden, auf dieses Medium sich stützenden Theilen des Flugapparates bestehen müssen. Dass jeder Versuch zur Aufklärung willkommen sein kann und nicht als überflüssige Theorie verächtlich auf die Seite geworfen werden darf, beweisst schon der Umstand, dass „Leute vom Fach“ sich zu Behauptungen versteigen, welche die Hoffnung, jemals das Reich der Lüfte beherrschen zu können, von vorneherein vernichten müssten.

Graffigny sagt unter Anderem:

„Aus all den Arbeiten, Proben und Versuchen der Aviateure geht zur Evidenz hervor, dass die Treibkraft aller dieser Apparate unzureichend ist. Um die Schwere, die Anziehungskraft der Erde auszugleichen, müssen für jedes Kilogramm, welches man emporheben will, 5 Kilogrammmeter erzeugt werden.“ (Ein Körper fällt bekanntlich in der ersten Sekunde um 5 Meter.) Diese Ansicht zwingt ihn für ein von ihm construirtes Schraubenluftschiff von 880 Kilogr. Gewicht, mit Steige- und Treibpropellern versehen, eine Motorstärke von 90 Pferdekräften anzunehmen, was eine Leichtigkeit des Motors per Pferdekraft bedingen würde, welche schwerlich jemals erreicht werden dürfte. (Graffigny schlägt Kohlensäure als treibendes Agens vor.)

*) Die Luftschifffahrt und die lenkbaren Ballons von Henry de Graffigny, Leipzig 1888, Uebersetzung von Schulze.)

**) Eine ebene Fläche, welche unter einem kleinen spitzen Winkel zur Bewegungsrichtung durch eine Schraube gegen die Luft getrieben und deren Gewicht durch den hiebei erzeugten Auftrieb getragen wird.

Eine weitere Behauptung seinerseits geht dahin, „dass bei Aeroplanen zum Tragen eines Kilogramms ein Quadratmeter Fläche nothwendig sei.“ Da nun an ein Schwebenbleiben in der Luft bei gleichzeitiger Vorwärtsbewegung, also an ein Fliegen nur bei Anwendung tragender Flächen zu denken ist, so stünde man, in Voraussetzung der Richtigkeit dieser Behauptung, für schwerere Apparate wieder vor einer fast unlösbaren constructiven Schwierigkeit. Ein Apparat z. B., welcher sammt dem Insassen 500 Kilogr. wiegen soll, müsste eine Tragfläche von 500 □ meter besitzen.

Wie wollte man diese Aufgabe constructiv lösen und dabei für genügende Festigkeit bei stärkerem Winde garantiren können? Würden durch diese grosse Anlage nicht die Querschnitts- und Luftreibungswiderstände so wachsen, dass an ein erfolgreiches Fliegen gegen den Wind gar nicht zu denken wäre?

Für senkrechten Fall allerdings böte eine solche Fläche genügende Sicherheit. Die Ankunftsgeschwindigkeit auf dem Erdboden würde einer Fallhöhe von $^1/_2$ Meter entsprechen.

Ohne lange suchen zu müssen finden wir in der Natur den Beweis der Unrichtigkeit dieser weiteren Annahme Graffigny's.

Nehmen wir zwei der besten Flieger, die sich zugleich als Segler auszeichnen. (Unter Segeln versteht man die Vorwärtsbewegung eines Vogels bei unbewegten ausgespannten Flügeln mit Hilfe eines Windes. Die eingehendere Erklärung dieser Fähigkeit wird später zu finden sein.)

Ich wähle die Möve und den Albatross zum Vergleiche und zwar desshalb, weil es zwei geometrisch ähnlich gebaute Vögel sind; in allen Theilen besitzt der letztere ungefähr die gleiche Längenvergrösserung.

Die Möve hat bei einem mittleren Gewicht von 0,1 Kgr. eine Flügelfläche von 0,04 □ meter. Der Albatross bei einem Gewicht von 1,5 Kgr. eine Flügelfläche von 1,1 □ meter. Der letzte Flieger, der 150mal so schwer als die Möve ist, hat eine blos 28mal grössere Flügelfläche.

Da die Inhalts- oder Gewichtsvergrösserung von der dritten Potenz des linearen Vergrösserungsverhältnisses abhängig ist bei geometrisch ähnlichen Körpern, so muss die lineare Vergrösserung des Albatross gegenüber der Möve gleich $\sqrt[3]{150} = 5,3$ sein; — die Flügelflächen und Querschnittsvergrösserung beträgt desshalb das $(5,3)^2$ fache oder (28) fache, wie es auch die direkte Messung zeigt. Es würde also, wenn man Gewicht und Flügelgrösse dieser beiden Flieger zu Grunde legt, die Flächenbelastung einer Aeroplane pro □ meter, die Möve als Vorbild genommen, gleich $2^1/_2$ Kgr. ausmachen und würde man sich nach den Verhältnissen des Albatross richten, so müsste man erst auf je 14 Kgr. einen Quadratmeter tragende Fläche verwenden.

*) Ich will hier die Gewichte und Flügelgrössen (es sind stets beide Flügel zusammen gemeint) einiger anderer guter Flieger angeben, sowie ihre Flächenbelastung pro Quadratmeter.

Flieger	Gewicht in Klgr.	Flügelflächengrösse in □ meter	Flächenbelastung pro □ meter in Klgr.
Kranich	9,5	0,85	11,1
Steinadler	3	0,5	6
Krähe	0,5	0,11	4,54
Taube	0,3	0,045	6,7
Schmetterling	0,2 Gramm	1663 □ mm.	1/9
Mücke	0,03 „	30 □ mm.	1/10

Das allgemeine Gesetz über die Beziehungen zwischen Gewicht, Flügelflächengrösse und Längendimensionen geht dahin, dass, wenn G. und g die Gewichte zweier Flieger, F und f ihre Flügelfläche und L und l ihre Längendimensionen bedeuten.

Das Gewicht $G = V^3 g$ ist
Die Fläche $F = V^2 f$ „
und eine Längendimension $L = V l$ „

Von den angeführten Fliegern schmiegen sich der Albatross, der Kranich, die Möve, die Krähe, der Schmetterling unter sich vollständig dieser Regel an, während der Steinadler durch eine zu kleine und die Taube durch eine zu grosse Flächenbelastung davon abweichen.

Beim Steinadler müsste die Flügelfläche blos 0,38 □meter Inhalt haben. Bei der Taube müsste derselbe 0,08 □ meter gross sein um damit übereinzustimmen.

Wir wissen nun, dass:

„Je schwerer und grösser ein Flieger ist, desto kleiner wird verhältnissmässig seine Flügelfläche.“ Die Feststellung dieses scheinbaren Paradoxon's lässt schon einen bedeutend erweiterten Ausblick in das Fluggebiet ahnen.

*) Anmerk.: Diese Zahlen sind Messungen de Lucy's und Prechtl's entnommen, bei der Taube habe ich mich durch eigene Messung von ihrer Richtigkeit überzeugt.



II. DER VOGEL.

Beobachtung und theoretische Schlussfolgerung — Die Theile des Vogels — Der Flügel — Der Rumpf — Der Schwanz — Die Beine -- Die Brustmuskulatur — Bewegung der Flügel — Fluggeschwindigkeit — Schwebe und Querschnittsarbeit — Flugbild — Recapitulation — Die übrigen Muskeln — Die Luftsäcke — Die Muskelthätigkeit des Vogels — Die Beobachtung Darwin's — Hinweis auf die Ersparniss an Flugarbeit durch Vorwärtsfliegen.



Die Beobachtung und Messung liefert das Material um theoretische Schlussfolgerungen daraus zu ziehen, und diese hinwieder bilden die Basis für weitere Beobachtungen; sie weisen auf Punkte hin, die man vorher, ohne dieses Ueberlegen, nicht beachtet hätte. Es ist ein Verhältniss genau wie in andern Gebieten des Wissens. Auf Beobachtungen und Erfahrungen gründend, bauen sich verschiedene Theorien, Hypothesen auf, diejenige mit welcher fernere Beobachtungen auf dem betreffenden Gebiete übereinstimmen, wird als richtig, als Wahrheit, als Gesetz anerkannt. Es kann der Fall eintreffen, dass plötzlich eine Erscheinung zu Tage tritt, die in vollständigem Widerspruch mit diesem für gesichert gehaltenen Axiom steht. Nun wird entweder ein neues Formelgehäuse geschmiedet oder dem alten noch ein Hinterthürchen angeflickt, damit diese unliebsame Zufälligkeit sich Raum schaffen kann.

Die Flugbewegungen gehen zu rasch vor sich um alles zur Erkenntniss dieser Bewegungsart Nothwendige beobachten zu können. Auch die in neuerer Zeit gemachten Momentaufnahmen sind noch lange nicht genügend für einen sicheren Einblick in diesen scheinbar sehr einfachen und doch wieder von einer Reihe von kleinen Umständen abhängigen Vorgang. Deshalb steht man hier ebenfalls unter dem Zwange, Theorien aufbauen zu müssen und dieselben durch Versuche zu unterstützen, zu bekräftigen oder bei vorkommenden Widersprüchen zu verwerfen.

Die grosse Anzahl verschiedener solcher Flugerklärungen beweist, dass genau die gleichen Beobachtungen und Messungen (die bei sämmtlichen Forschern in dieser Richtung ziemlich übereinstimmen) zu weit auseinandergehenden Auslegungen führen können.

Obwohl es nicht Zweck dieser Zeilen ist, den Vogelflug zu erklären, die Behandlung desselben vielmehr blos als Brücke dienen soll, zu Betrachtungen über das Fliegen mittelst mechanischen Mitteln, so will ich doch den Leser mit den Hauptbedingungen desselben bekannt machen. Zudem werde ich dabei einige Anschauungen darlegen, als Rückschlüsse aus der späteren theoretischen Behandlung der Bewegung von Körpern und Flächen in der Luft, die meines Wissens neu sein dürften; und dann versuche ich eine vollständige Erklärungsform für das „Segeln“ der Vögel (dabei ist das „Kreisen“ inbegriffen) zu bringen.

Betrachten wir zunächst jene Theile am Thierkörper, mittelst deren Benützung sich der Flug-Vorgang vollzieht. Ihre genaue Kenntniss ist eine der wesentlichsten Bedingungen füs das Verständniss dieser Art von Bewegung.

Zuerst der Flügel; betrachtet man einen solchen in ausgespanntem Zustande, so findet man, dass seine Form von oben gesehen in der Nähe des Rumpfes am breitesten ist und eine Strecke weit diese Breite beibehaltend, allmälig schmäler werdend, mehr oder weniger spitz ausläuft. (a) ist das Handgelenk, (b) der Ellbogen des Flügelarmes. Der Vorderarm ist bei den meisten guten Fliegern länger als der Oberarm. Die Hand hat beiläufig die Länge des Vorderarmes und besteht aus einem Mittelfinger, einem kleinen Finger, dem Daumen und deren Mittelhandknochen.

Das Gewicht der beiden Flügel zusammen beträgt bei kleineren Vögeln $^1/_7$ und bei grösseren bis $^1/_5$ des Gesammtgewichtes.

Der Schwerpunkt eines Flügels liegt ungefähr in dem Punkte (S) siehe Figur (1). Der Schwerpunkt der Flügelfläche liegt im Punkte (S').

Eine äusserst wichtige Eigenschaft des Flügels ist eine vom Vorderrand zum Hinterrand laufende leichte Krümmung desselben, welche vorn etwas stärker ist, nach hinten aber schwächer wird, also Aehnlichkeit mit einer Parabel hat.

Bei einem Taubenflügel fand ich das Krümmungsverhältniss in der Gegend des Handgelenks gleich $^1/_{10}$, das heisst die Bogensehne war 10mal länger als die Bogenhöhe. Unter dem Einfluss des Luftdrucks während dem Fliegen wird selbst verständlich diese Krümmung schwächer. Bei grösseren Raubvögeln, welche mit Gemächlichkeit segelnd ihr Jagdgebiet umkreisen, sieht man dieselbe sehr schön ausgebildet. Bei Sturmvögeln, wie der Fregatte und dem Albatross, ist sie flacher, zugleich sind die Flügel schmäler aber länger, von grösserer Spannweite. Diese Meerbewohner haben gegen grosse Windgeschwindigkeiten zu kämpfen.

Die Flügelfläche wird durch eine Reihe steifer Federn gebildet, welche von aussen gegen den Rumpf zu dachziegelartig übereinander liegen. An der Hand sind bei allen Vögeln gleich viel, nämlich 10 Schwungfedern mit einer sehnigen Haut, welche dieselben umgibt, befestigt. Die

Anzahl der Fächerfedern, welche am Unterarm an seiner Elle auf ähnliche Weise angebracht sind, kann wechseln zwischen 10 und 25 (die Taube hat deren 10, der Pelikan 25).

Die bartlosen Spulen dieser Federn sind oben und unten von Deckfedern umhüllt, ebenso die Haut, welche zwischen Oberarmkopf, Ellbogengelenk und Handgelenk liegt (der sog. Windfang), sowie der Oberarm selbst. Die gesammte Anordnung bildet also eine für Luft undurchlässige concave Fläche, deren grösste Concavität in der Ellbogengegend sich befindet.

Das Handgelenk und das Ellenbogengelenk sind Scharniergelenke. Das Oberarm- oder Schultergelenk muss man als freies Scharniergelenk bezeichnen. Seine Gelenkpfanne wird durch das obere Ende des Schlüsselbeines gebildet. Der Gabelknochen hilft mit, in federnder Weise diese beiden Enden auseinander zu halten und die Annäherungen der Schlüsselbeinenden während dem Flügelniederschlag bei der Hebung, wenn kein Druck auf dieselben stattfindet, wieder auszugleichen. Wäre diese Einrichtung nicht getroffen und das Schlüsselbein starr mit dem Brustbein verbunden, so könnte bei plötzlichen heftigen Flügelschlägen ein Bruch des Schlüsslbeines herbeigeführt werden. Das untere Ende des Schlüsselbeins ist am Brustbein nur aufgestützt, nicht fest verbunden mit ihm (siehe Fig. 3). Die Schulterblätter fixiren die Lage der Gelenkpfannen in der Rumpfaxenrichtung.

Der längliche Kopf des Oberarmes bewegt sich in der Gelenkpfanne deren Axe einen Winkel von etwa 60° mit der Rumpfaxe bildet und diesem Kopfe noch kleinere seitliche Drehungen gestattet.

Die Ebene, welche durch den Ober- und Unterarm geht, bildet mit der Flügelebene ebenfalls einen Winkel von etwa 60°.

Da die Hauptrichtung des länglichen Gelenkwulstes des Oberarmkopfes selbst wieder eine ungefähr senkrechte zur Oberunterarmebene ist, so wird die Lage der Flügelebene in der Schwebestellung (wenn die Flügel in der horizontalen Mittelstellung sind) eine horizontale. Unter Umständen wird beim Schweben der Flügel noch etwas aus der horizontalen Lage nach unten gedreht, was man mit blossem Auge schon sehr gut beobachten kann. Es geschieht dies, um einen genügenden Auftrieb zu erhalten.

Diese Winkelangaben sind nur ungefähre, sie variiren innerhalb Grenzen von einigen Graden. Unter Flügelebene ist die Ebene zu verstehen, welche durch die Sehnen der Flügelkrümmungen geht.

Wie das Anziehen des Flügels an den Leib vor sich geht, zeigt die Figur (5).

Ich werde überhaupt so viel als möglich statt beschreibender Worte, die bildliche Darstellung anwenden; indem diese einen viel besseren Einblick in das Wesentliche eines Mechanismus gibt.

Prechtl*) theilt die Flügel im weiteren noch ein in Ruderflügel und Schnellflügel (von schnellen).

Bei den grösseren Ruderflügeln sind die äusseren Schwungfedern auseinandergespreitzt. Sie haben eine verhältnissmässig grössere Fläche als die Schnellflügel und gehören desshalb hauptsächlich dieser Vogelgattung an, die mehr auf's Schweben angewiesen ist.

Die kleineren Vögel, sowie die grossen Seevögel, haben Schnellflügel. Bei diesen ist die Flügelfläche ein ungetheiltes Ganzes.

Die Krähe ist z. B. mit Ruderflügeln versehen, während die Taube Schnellflügel besitzt.

Diese Unterschiede haben auf unsere Betrachtungen keinen Einfluss und werde ich desshalb nicht weiter darauf eingehen.

Im Weitern darf man sich nicht der irrthümlichen aber vielfach verbreiteten Meinung hingeben, dass der Vogel die Schwungfedern bei der Flügelhebung auseinanderspreitze und drehe, (so etwa wie das Oeffnen und Schliessen eines Jalousieladens vor sich geht) um die Luft durchzulassen, und sie beim Niederschlag wieder zusammenziehe.

Unter was für Umständen Luft von der Rückseite her und auf welche Weise, durch einen Theil der Schwungfederpartie dringt, wird bei dem Eingehen in die Flugbewegungen zur Sprache kommen.

Die Länge des Flügels beträgt bei den breiteren Ruderflügeln das $2^1/_2$fache, bei den schmäleren Schnellflügeln das 3fache der Flügelbreite.

Die Länge der grössten Schwungfeder kommt bei den grossen Fliegern ungefähr die Hälfte der Flügellänge gleich.

Der Rumpf des Vogels kann als ein, an beiden Enden spitz zulaufender Rotationskörper angesehen werden. Der Schwerpunkt desselben liegt hinter dem Schultergelenk, noch etwas hinter der Linie, in welcher man sich beim Schweben sämmtlichen tragenden Luftdruck auf die Flügel vereinigt denken kann.

Der Schwanz der Vögel besteht in der Regel aus 12 starken geraden Federn die nach der Mitte zu übereinander liegen. 8 Muskelpaare vermitteln seine Bewegungen.

Er sichert in erster Linie dem Vogel beim Fliegen und Schweben seine Stabilität, weil er ihn bei unerwarteten Luftstössen und bei Unregelmässigkeiten an seiner eigenen Bewegung vor dem Umkippen nach vorn oder hinten bewahrt, indem er diesen vorkommenden Drehbestrebungen, welche der gegenseitigen Lage des Schwerpunktes und des Angriffspunktes des Auftriebs der Flügel entsprechen, durch sofortige Verursachung eines Luftwiderstandes nach oben oder unten entgegentritt.

Langhalsige Vögel wie Gänse, Reiher etc., welche die Schwerpunktslage durch Ausstrecken oder Einziehen des Halses bestimmen können, haben daher kürzere Schwänze als Kurzhalsige.

---

*) Untersuchungen über den Flug der Vögel, Wien 1846.

Die Länge des Schwanzes variirt von $^1/_5$ bis zur Hälfte der Körperlänge. Bei einem Geyer z. B. beträgt sie $^1/_3$ derselben.

Durch Hebung und Senkung in der Verticalebene kann er eine auf- oder absteigende Flugrichtung erzielen. Diese Bewegungsänderung kann noch besser durch die Flügel bewirkt werden.

Der Schwanz wird beim raschen Flug zusammengefaltet, um den Luftwiderstand von vorn zu verringern, beim Schweben und Flattern (verkürzten Flug) breitet er sich aus, um die tragende Fläche zu vergrössern.

Er dient ferner zur Vermittlung von seitlichen Aenderungen der Flugrichtung. Der ganze Vogel bekommt dann eine gegen den Mittelpunkt der nun eintretenden Krümmung der Flugbahn, geneigte Lage. Es geschieht dies desshalb, um eine nach innen, der Centrifugalkraft der Vogelmasse entgegenwirkende Componente zu erzeugen. Da später nochmals die Lenkung behandelt wird, werde ich dort näher darauf eintreten und zeigen, welche Aufgaben Schwanz und Flügel dabei haben.

Die im Verhältniss zu den vordern Gliedmassen schwach entwickelten Beine sind für's Fliegen bedeutungslos und werden dabei so nahe als möglich an den Rumpf und die Unterfläche des Schwanzes angelegt. Blos beim verkürzten Flug, in der Nähe des Ziels, das der Vogel erreichen will oder beim Flattern über einer Stelle, wo er eine Beute vermuthet, hängen dieselben herunter.

Da die Schilderung der für den Flug wichtigen Theile beendet ist, wollen wir den Blick auf den flügelbewegenden Mechanismus richten.

Wie die Figur (8) zeigt, sind die Motoren, welche die Flügel nach abwärts ziehen, die beiden grossen Brustmuskeln. Sie liegen zu beiden Seiten der hohen Mittelkannte des Brustbeines (bei der Taube ist ihre Höhe gleich $^1/_3$ der Rumpflänge), welches fast die ganze Unterseite des Rumpfes einnimmt, und sind fleischig befestigt. Der vordere obere Theil des Brustmuskels inserirt sich mit seinem fleischig-sehnigen Ende an die untere Fläche der vorspringenden Leiste des Oberarmbeinkopfes. Die ganze Anheftungstelle hat die Form eines Parallelogramm's (siehe Figur 9).

Der Brustmuskel besteht aus 3 Partien, von denen jede für sich zu wirken im Stande ist (bei den meisten Vögeln wenigstens, bei den Fledermäusen sind dieselben ganz getrennt). Die vordere allein würde eine Drehung des Flügels nach vorn, die mittlere eine nach abwärts, die hintere eine solche nach hinten verursachen. Man sieht leicht, dass diese Einrichtung schon eine grosse Mannigfaltigkeit an Flügelstellungen ermöglicht, welche nur durch die Art der Schultergelenkverbindungen bestimmten Bedingungen unterworfen sind.

Nehmen wir den Fall an, wo bestmögliche Ausnützung der Arbeitsfähigkeit des Brustmuskels gefordert wird.

Der Flügel ist in seiner obersten Stellung und soll niedergedrückt werden (oder der Rumpf soll sich der Flügelfläche als ausweichende Stütze bedienen). Würde seine Bewegung der Gelenkaxenrichtung folgen, also die Flügelspitze sich von vorn nach hinten bewegen, so käme, wie man aus der Figur leicht sieht, die vordere und stärkste Partie des Brustmuskels gar nicht zur Geltung, weil ihr keine Verkürzung möglich gemacht wird. Erfolgt seine Niederbewegung in der senkrecht zur Gelenkaxe stehenden Richtung, so kämen die mittlere und hintere Partie des Muskels zu keiner Thätigkeit, sondern nur der vorderste am Gabelknochen befestigte Theil. Logischerweise muss ein Mittelweg zwischen diesen beiden der richtige sein, auf welchem in kürzester Zeit die grösste Gesammtcontraktion aller 3 Partien möglich ist. Um diesen Mittelweg genauer zu bestimmen, muss ein Präparat zu Hilfe genommen werden. Man findet dann, dass dies derjenige Weg ist, bei welchem die Flügelspitze des ausgespannten Flügels eine Linie beschreibt, die von oben nach unten und dabei etwas nach vorn führt (siehe Fig. 10).

Auch die Naturbeobachtung zeigt dies. Wenn man ein bischen scharf und unter günstigen Umständen den Flügelweg verfolgt, so kann man diese nach vorn führende Bewegung des Flügels sehen. Gegen das Ende des Niedergangs scheint derselbe sich nach rückwärts zu bewegen, das ist allerdings in geringerem Masse der Fall, zugleich zieht aber der Vogel die Flügelenden mehr oder weniger vor der Hebung ein, um den Luftwiderstand zu vermindern. Dies macht den Eindruck, als ob der ganze Flügel sich stark nach rückwärts bewege.

Bei geringer Fluggeschwindigkeit findet dieses Einziehen der Flügel bei der Hebung nicht statt.

Ich machte diese Beobachtung hauptsächlich an Möven.

Ob die Geschwindigkeit des Flügels nach abwärts eine gleichmässige oder eine beschleunigte sei, lässt sich nicht beobachten.

Figur (18) zeigt eine schematische Zeichnung der Flügelstellungen in den verschiedenen Bewegungsphasen nach den Momentaufnahmen von Marey. An der Pariser Weltausstellung anno 1889 war ein solches Flugbild plastisch ausgeführt zu sehen und gab einen sehr deutlichen Begriff des Vorgangs.

Der mittlere Angriffspunkt der Brustmuskelinsertion ist nicht bei allen Fliegern um den gleichen Bruchtheil der Flügellänge (Unter Flügellänge ist die längste Dimension des ausgespannten Flügels zu verstehen) vom idellen Drehpunkt des Oberarmkopfes entfernt.

Bei den Fliegern mit sehr rascher Folge der Flügelschläge ist dieser Angriffspunkt um einen kleinern Bruchtheil der Flügellänge von dem Drehpunkt entfernt, bei grossen guten Fliegern um einen grossen. (Fig. 11.)

Bei der Gans ist $h = \frac{1}{40}$.

Beim Adler ist $h = \frac{1}{20}$.

Der Brustmuskel ist weitaus der grösste von sämmtlichen Muskeln.

Bei Raubvögeln beträgt das Gewicht beider Brustmuskeln zusammen $^1/_7$ des Gesammtgewichtes.

Bei hühnerartigen Vögeln ist es bedeutend grösser (bei der Gans $^1/_5$ ihres Gewichtes).

Diese hühnerartigen Vögel sind zu momentanen aussergewöhnlichen Arbeitsleistungen befähigt, sie sind aber nicht im Stande, einen längeren Dauerflug auszuführen wegen ihrer schlechten Flügeleinrichtung.

Man könnte behaupten, die Natur habe sie in dieser Beziehung desswegen so mangelhaft ausgestattet, damit der Mensch auf bequeme Weise zu einem sehr schmackhaften Nahrungsmittel gelangen könne.

Selbst die mächtigsten dieser hühnerartigen Vögel (wie Gänse, Schwäne etc.) können vom Platze aus, wo sie stehen, sich direkt erheben und unter Umständen einige Zeit an gleicher Stelle sich schwebend erhalten.

Dies ist den grössten guten Fliegern (Lämmergeier, Condor, Albatross) bei gleicher oder sogar noch geringerer Flächenbelastung in Folge ihres schwächeren Brustmuskels nicht möglich.

Ihre Eigenschaft, gute Flieger zu sein, rührt eben nicht von einer übermässigen Stärke ihres Motors her, sondern sie haben dieselbe ihren vorzüglich gebauten Flugwerkzeugen zu verdanken.

Lässt sich aus dieser Vergleichung zwischen dem schlechten Flieger mit seinem starken, und dem guten Flieger mit dem schwächeren Motor nicht eine Folgerung hinüberleiten zu den bisherigen missglückten Versuchen auf dem Gebiete der Flugtechnik?

Ist der Misserfolg nicht eher in der ungenügenden Construction der gebrauchten Flugwerkzeuge als in dem vermeintlichen Mangel an einem genügend starken Motor zu suchen?

Ferner:

Der geometrischen Aehnlichkeit zu Folge müsste ein Vogel, der n mal schwerer ist als ein anderer, auch einen n mal stärkeren Brustmuskel haben.

Man sieht aber schon bei Vergleichung der Höhe der Brustbeinkämme (jede bessere zoologische Sammlung bietet dazu Gelegenheit), dass dieselben bei grossen Vögeln verhältnissmässig geringer sind als bei kleinen, also auch die Brutmuskelmasse in einem geringern Maasse zugenommen hat, als dem Gewichtsverhältnisse beider entsprechen würde.

Für den senkrechten Niederschlag der Flügel, ohne dass sich dabei der Vogel nach vorwärts bewegt, findet man, dass der Angriffspunkt des gesammten Luftdruckes auf die Unterfläche des Flügels in einer Distanz, gleich der halben Flügellänge, vom Drehpunkt entfernt, gedacht werden kann (siehe Fig. 1).

In Bezug auf die Aktionen beim Fliegen beobachtet man ferner, dass die Flügelhebung rascher erfolgt als der Flügelniederschlag. Nach Prechtl's Angaben und Messungen beträgt die kürzeste Zeit für die Flügelhebung ein Drittel von derjenigen, welche für den Flügelniedergang gebraucht wird. Es kommt aber bei guten Fliegern auch vor, dass sie beide Bewegungen in beinahe gleicher Zeit ausführen.

Bei zwei ähnlich gebauten, aber verschieden grossen Vögeln ist ungefähr die Anzahl ihrer Flügelschläge in der Zeiteinheit umgekehrt proportional wie ihre Längendimensionen. Eine Taube macht bei mittlerer Geschwindigkeit etwa 3 Flügelschläge per Sekunde.

Der Schlagwinkel (d. i. der Winkel, welchen die oberste Flügelstellung mit der untersten bildet) sind bei den Flügelpaaren beider ungefähr die gleichen, so dass also auch die Geschwindigkeiten nach abwärts von zwei übereinstimmenden Flügelpunkten die gleichen sind. Bei der Taube beträgt derselbe bei mittlerer Geschwindigkeit etwa 60°.

Bei Vergrösserung der Fluggeschwindigkeit muss der Schlagwinkel zunehmen, weil dabei der Querschnittswiderstand ein grösserer wird und deshalb die vorwärtstreibende Componente des Luftdrucks auf den Flügel auch grösser werden muss (siehe Fig. 13).

Es wird hier nothwendig, ungefähr anzugeben, was unter Querschnitts und was unter Schwebearbeit zu verstehen ist.

Als Querschnittsarbeit wird in Zukunft diejenige Arbeit bezeichnet, welche nothwendig ist, um den Luftwiderstand, den der Rumpf inbegriffen die Flügelansatzstellen verursachen, zu überwinden.

Als Schwebearbeit soll diejenige Arbeit gelten, welche geleistet werden muss, um einen schweren Körper in einem leichten Medium mit Hülfe von Stützflächen im Gleichgewicht mit der Anziehungskraft der Erde zu erhalten.

Ueber die horizontalen Fluggeschwindigkeiten der Vögel lassen sich folgende annähernde Regeln aufstellen.

Grosse Vögel können schneller fliegen als Kleine, weil bei ihnen eine vergrösserte Geschwindigkeit nicht so viel Arbeitsvermehrung fordert. Wir wissen ja, dass wie die Flügelflächen so auch der Querschnitt in einem kleineren Verhältniss als nach demjenigen der Gewichte wächst, dass in Folge dessen bei gleichen Fluggeschwindigkeiten beim grossen Vogel die Querschnittsarbeit einen geringeren Bruchtheil der Gesammtarbeit ausmacht und desshalb bei einer Geschwindigkeitsvermehrung die Arbeit des grossen Vogels gegen vorher nicht um so viel wächst wie diejenige des kleinen, dass er also einem Gegenwind, einem Sturme, viel eher Stand halten kann, als der letztere.

Ich gehe dabei von der Voraussetzung aus, dass der andere Theil der Gesammtarbeit, die Schwebearbeit, welche stets in proportionaler Beziehung zum Gewicht des fliegenden Körpers ist, auch proportional der Geschwindigkeit, d. h. dem per Sekunde zurückgelegten Weg wächst (siehe IV).

Ferner, dass der Querschnittswiderstand proportional mit der Fluggeschwindigkeit wachse, also die Querschnittsarbeit vom Quadrate dieser Geschwindigkeit abhängig sei.

Nun gestaltet sich die Vergleichung der Arbeitsvermehrung des grossen und kleinen Vogels folgendermassen:

Es ist beispielsweise die anfängliche Geschwindigkeit beider Vögel gleich V gewesen.

Die Arbeit des grossen Vogels sei dabei (die Querschnittsarbeit ist im Verhältniss zur Gesammtarbeit klein)

$$A = \underset{\text{(Schwebearbeit)}}{4/5\, A} + \underset{\text{(Querschnittsarbeit)}}{1/5\, A}$$

Die Arbeit des kleinen Vogels (die Querschnittsarbeit ist im Verhältniss zur Gesammtarbeit grösser

$$a = \underset{\text{(Schwebearbeit)}}{2/3\, a} + \underset{\text{(Querschnittsarbeit)}}{1/3\, a}$$

Verwandelt sich diese Geschwindigkeit in eine solche, welche gleich $2\,V$ ist, so wird die Arbeit des grossen Fliegers

$$A' = 2\,(4/5)\,A + 2^2\,(1/5)\,A = 2^2/5\,A$$

Und die Arbeit des kleinen Fliegers

$$a' = 2\,(2/3)\,A + 2^2\,(1/3)\,a = 2^2/3\,a$$

An diesem Beispiel ist also veranschaulicht worden, dass bei doppelter Geschwindigkeit die Arbeit des grossen Vogels blos um das $2^2/5$fache, die des kleinen aber um das $2^2/3$fache gestiegen ist.

Bei der gewöhnlichen Annahme, dass der Querschnittswiderstand vom Quadrate der Geschwindigkeit abhängig sei, und unter der Voraussetzung, dass die Schwebearbeit noch in kleinerem Maasse, als der Geschwindigkeitsvermehrung entsprechend zunähme, würde sich der grössere Vogel nur in noch günstigerer Lage als der kleine befinden.

Von zwei mit gleich grossen Flügelflächen ausgestatteten Vögeln hat der schwerere eine grössere mittlere Geschwindigkeit, weil erst bei dieser grösseren Schnelligkeit der Auftrieb auf die Flügel genügend ist, um seinen schweren Rumpf zu tragen.

Diese ist bei der Taube, wie man sich leicht durch den Augenschein überzeugen kann, bedeutend grösser als bei der Möve.

Beide haben ungefähr die gleich grosse Flügelfläche, wie die vorausgeschickte Tabelle angiebt, hingegen ist die Taube dreimal schwerer als die Möve.

Es ist desswegen nicht gesagt, dass die Möve in Folge ihres noch viel besser gebauten Flügels und ihres geringeren Querschnitts nicht auch eine so grosse Fluggeschwindigkeit wie die Taube erzielen könnte trotz ihrer kleineren Brustmuskeln.

Die Bauart des Vogels und speziell seiner Flügel spielt eben bei der Fluggeschwindigkeit eine grosse Rolle.

Was die Bauart der Flügel für Folgen hat, kann man durch eine vergleichende Beobachtung der Möve und der Krähe sehen. Letztere müsste laut der ersten der beiden Voraussetzungen eher dem Sturme Stand halten können, als erstere. Es ist aber nicht ber Fall. Ich habe sehr oft sehen können, wie die Möven gegen den Wind ankämpften und noch vorwärts kamen, während die Krähen abgetrieben wurden. Die Möve hat einen flachen schärfer gebauten Flügel als die Krähe.

Nach Angaben Prechtl's erreichen folgende Vögel nebenstehende horizontale Fluggeschwindigkeiten:

	Grösste	Kleinste (bei welchen die geringste Sekundenarbeit geleistet werden muss).
Ein Adler =	25 Meter	10 Meter
Eine Krähe =	14 „	7 „
Eine Taube =	18 „	10 „
Ein Sperling =	8 „	5 „

Die Anzahl der Flügelschläge soll dabei bei der grössten Geschwindigkeit beim Adler 2,5, bei der Krähe 4, bei der Taube 4, beim Sperling 8 betragen.

Bei Brieftauben kommen Fluggeschwindigkeiten von über 20 Meter vor. Bei diesen ist die zuverlässigste Schätzung möglich, weil man die Zeit des Abgangs und der Ankunft, sowie die zurückgelegte Wegstrecke kennt.

Bei Gelegenheit einer Meerfahrt beobachtete ich dem Schiffe nachziehende Möven. Das Schiff machte 13 Knoten per Stunde und hatte also eine Geschwindigkeit von beinahe 7 Meter per Sekunde. Die Möven machten ungefähr 2 Flügelschläge per Sekunde; ihre Flügel waren bei der Hebung wie beim Niederschlag vollständig ausgestreckt Beides deutete darauf hin, dass sie bei einer Geschwindigkeit von 7 Metern einen minimalen Arbeitsaufwand nöthig hatten. Man hatte auch den Eindruck einer für sie sehr gemächlichen Flugweise.

Im Weitern konnte ich Neigungsänderungen des Rumpfes deutlich beobachten. Diese Beobachtungsart von einem Schiffe aus hat den Vortheil, dass man den Vogel immer in gleicher Distanz von sich entfernt betrachten kann, wie wenn man ihn, auf derselben Stelle bleibend, seine Bewegungen ausführend, vor sich hätte. Eine ebenso zweckmässige Beobachtungsweise bietet sich, wenn man Gelegenheit hat, den Vogel zu sehen, wenn er gegen einen starken Wind fliegt, welcher ihm kein Vorwärtskommen mehr gestattet. Er macht dann selbstverständlich genau die gleichen Bewegungen, wie wenn er mit dieser Windgeschwindigkeit in ruhiger Luft flöge.

Versuchen wir, aus dem Bisherigen uns ein annäherndes Bild des Flugsvorgangs zu verschaffen. Es ist dies leicht möglich, da wir die Anzahl der Flügelschläge, das Verhältniss der Hebe- und Schlagzeit, sowie die Fluggeschwindigkeit durch die Beobachtung kennen.

Dass der Rumpf beim Flügelniederschlag gehoben wird und während der Flügelhebung wieder sinkt, ist selbstverständlich. Man kann diese Schwankungen an Vögeln mit langsamen Flügelschlag ganz gut sehen.

Nimmt man beispielsweise drei Flügelschläge per Sekunde an. Die Flügelhebung brauche die halbe Zeit des Niederschlags, der Schlagwinkel sei 60°, der Weg den die Flügelspitze beschreibt, sei 30 ctm. (Taube) und die beobachtete Fluggeschwindigkeit sei 10 Meter, so ergibt sich das Bild wie es Fig. 14 zeigt.

Die Hebung des Rumpfes muss selbstverständlich während dem Niederschlag so gross sein als bei der Flügelhebung der Fall desselben war. Die Zeit der Flügelhebung ist der Naturbeobachtung gemäss kürzer, als die Zeit des Flügelniederschlags; beide Zeiten sollen sich wie 2 : 1 verhalten.

Die äussern Theile des Flügels beschreiben einen viel grösseren Weg von oben nach unten, als die inneren. Sollen sie die Luft nicht unter einem stumpfen Winkel, also unter ungünstigern Bedingungen (siehe IV) treffen, so müssen sie etwas mehr nach vorn geneigt sein.

Schnitte durch einen ausgespannten Taubenflügel zeigen, dass die durch die Schwungfedern gebildete ganz schwach gekrümmte äussere Flügelpartie am stärksten nach vorn geneigt ist. Die Neigung des Schnittes durch das Handgelenk, welcher Schwung- und Fächerfedern trennt, ist eine viel geringere, die Krümmung desselben ist stärker, am stärksten ist dieselbe beim Schnitt durch das Ellbogengelenk, dieser hat keine Neigung nach vorn, eher etwas nach rückwärts. (Fig. 12.)

Man ersieht aus dem Flugbild, dass beim Flügelniederschlag die innern Flügeltheile hauptsächlich tragend, die äusseren tragend und vorwärtstreibend wirken. Bei der Flügelhebung wird der Flügel etwas nach aufwärts gedreht, der innere Flügeltheil wirkt desshalb auch hier tragend, der äussere sucht mit dem geringsten Wiederstand die Luft zu durchschneiden. Schmiegt sich dieser Flächentheil nicht genügend der Bewegungsrichtung an, so ermöglicht es die Art der Stellung und Lagerung der Schwungfedern übereinander, die Luft zwischen ihnen durchzulassen (siehe Fig. 15). Beim Niederschlag wurden diese Federn durch den Luftdruck von unten aneinander gepresst und bildeten ein undurchlässiges Ganzes. Man sieht ferner, dass der Rumpf während seiner Hebung etwas nach aufwärts geneigt sein muss (zusammenfallend mit seiner Bewegungsrichtung) damit er keinen niederdrückenden Luftwiderstand von oben erleide. Die vorhin angeführte Beobachtung der Möve bestätigt dies.

Von a bis b findet eine hebende und vorwärtsschiebende Wirkung auf den Rumpf statt. Der Flügel hat ausser seiner Eigenschaft als tragende Stütze auch noch in der beschriebenen Weise eine nach vorn wirkende Kraft zu liefern, welche die Querschnittswiderstände überwindet, und zwar darf wie leicht einzusehen ist, diese Kraft nicht blos so gross sein, dass sie diesem Widerstand auf dem Weg a b das Gleichgewicht hält,

sondern sie muss dem ganzen Vogel noch eine Beschleunigung mittheilen, welche im Stande ist die zu erleidende Verzögerung auf dem Wegstücke cb aufzuheben, so dass die Fluggeschwindigkeit in c wieder die gleiche ist, wie in a. Dieselbe ist also eine ungleichmässige, indem sie in der Gegend von b am grössten ist. Da in der tiefen Lage der Flügel eine Neigung nach abwärts in eine solche nach aufwärts verwandeln muss und diese Neigungsänderung bei Einhaltung der gebrochenen Bewegungsrichtungslinie einen grossen aufhaltenden Widerstand erzeugen würde, so wird dieser Uebergang in einer Curve vor sich gehen (siehe Fig. 16).

Der Uebergang von der Flügelhebung zu seinem Niederschlag wird ein allmäliger, also ebenfalls bogenförmiger sein. Ohne tiefer gehende Erklärung wird man jetzt schon einsehen, dass jede Bewegungsänderung in gebrochener Richtung vermieden wird, um keine Stosswirkungen entstehen zu lassen.

Fig. 14 gibt ein Bild des Fluges während einem Auf- und Niederschlag, wie wir uns dieses nach den bisherigen Beobachtungen und Schlüssen reconstruiren können. Später werden wir dieses Flugbild noch vervollständigen, indem dann besonders die Punkte berücksichtigt werden, welche auf die Arbeitsöconomie Bezug haben.

Ich will folgende drei, von den bisher gefundenen Thatsachen recapituliren, damit der geehrte Leser dieselben noch einmal deutlich vor Augen hat, bevor weiter gegangen wird. (Es gilt dies natürlich nur für den Vergleich von guten ähnlich gebauten Fliegern.)

1. Je grösser ein Vogél ist, desto kleiner wird verhältnissmässig seine Flügelfläche. Ein n mal schwererer Vogel als ein anderer hat nur eine $(\sqrt[3]{n})^2$ mal so grosse Flügelfläche.
2. Grosse Vögel können schneller fliegen als Kleine.
3. Grosse Vögel haben verhältnissmässig kleinere Brustmuskeln. Der Brustmuskel eines n mal so schweren Vogels ist nicht ganz n mal so schwer wie der Brustmuskel des kleinen Vogels.

Von den übrigen Muskeln, welche den Bewegungen des Flügels dienen, ist hauptsächlich der kleine Brustmuskel (ein langer, aber dünner schwacher Muskel) noch anzuführen, dieser liegt auch am Brustbeinkamme, unter dem grossen Brustmuskel, geht zwischen Gabelknochen und Schlüsselbein durch zur obern Seite des Oberarmkopfs und bewirkt die Hebung des Flügels.

Es sind im Ganzen 8 Muskeln welche den Oberarm bewegen und die mit ihrem einem Ende am Rumpfe befestigt sind. Zur Bewegung des Vorderarms dienen 9 Muskeln, die theils am Rumpfe, grösstentheils aber am Oberarm befestigt sind und sich an das innere Ende des Vorderarmknochens inseriren.

Der präparirte Flügelarm hat sehr viel Aehnlichkeit mit dem Arm des Menschen, abgesehen von den Längenverhältnissen von Oberarm, Vorderarm und Hand.

Es hat hier keinen Zweck weiter auf diese 17 Muskeln einzugehen, sie haben noch andere Funktionen als blos diejenigen, welche die Flugbewegungen vermitteln, und dienen bei letztern hauptsächlich zur Fixirung der Flügelstellung in den einzelnen Flugphasen, sowie zum eventuellen Einziehen des Flügels.

Theilweise helfen sie auch noch dem grossen Brustmuskel beim Niederziehen des Flügels, sowie dem kleinen Brustmuskel bei der Hebung desselben.

Ein Blick in's Innere des Vogels zeigt uns eine weitere wichtige Einrichtung. Es sind dies die Luftsäcke denen wir begegnen, häutige mit warmer comprimirter Luft gefüllte Blasen, welche mit der sehr kleinen Lunge durch Luftröhrenäste verbunden sind, ebenso mit den grössern hohlen Knochen (z. B. mit dem Oberarmbein). Sie sind willkürlich abschliessbar. Ausser dem in der Bauchhöhle ausgebreiteten, bis zum Steis gehenden, die Bauch- und Oberschenkelmuskeln umgebenden und in die Oberschenkelknochen mündenden bedeutenden Luftbehälter ist noch einer, (hauptsächlich bei den hohen Fliegern sehr gross), durch die aneinander hängenden Luftzellen gebildet, welche die am Schulterblatt, Schlüsselbein, Gabelknochen gelegenen, den Oberarm bewegenden Muskeln, sowie den Oberarmkopf selbst umgeben.

Diese Behälter dienen in erster Linie als Luftreservoir für die kleine, nur in geringerem Maasse ausdehnbare Lunge. (Das Nähere siehe Prechtl.)

In zweiter Linie haben sie eine sehr wichtige mechanische Bedeutung. Dieselbe wurde meines Wissens bisher vollständig ausser Acht gelassen, während es einem bei der Erörterung der Flugdynamik zweifellos klar wird, dass diese Luftsäcke von der Natur ausser zum Respirationsprozess auch als Arbeit accunulirende und wieder abgebende Constructionselemente verwendet werden.

Beim Schweben und segeln hinwieder dienen sie (es handelt sich dabei nur um diejenige Partie, welche das Oberarmgelenk umgiebt) zur Entlastung des Brustmuskels, denn dieser würde sonst in kurzer Zeit durch den beständigen Zug, den er zwischen Rumpf und Flügeln ausüben muss, ermüden. (Wie rasch eine solche Ermüdung eintritt, kann man durch längeres Hinaushalten eines Armes an sich selbst erfahren.)

Dass diese im Vogel enthaltene Luft nicht tragend wirken (diese Meinung herrscht sehr oft) kann, beweist schon der Umstand, dass sie sich in mehr oder weniger comprimirten Zustand befindet. Wenn auch alle diese Hohlräume, oder sogar der ganze Vogel, mit der leichtesten Gasart gefüllt wären, so würde dies bei einem Adler für die noch viel zu grosse

Inhaltsannahme von 10 cdm eine Entlastung von 0,13 Klgr. ausmachen, also eine gegenüber dem Gesammtgewicht von 3—5 Klgr. verschwindend kleine.

Was die Muskelthätigkeit des Vogels beim Fliegen in ruhiger Luft anbelangt, so ist sie per Zeiteinheit eine grössere als diejenige bei der Bewegung der Säugethiere. Dies geht schon aus dem starken Nahrungsbedürfniss und der höhern Bluttemperatur der Vögel hervor.

Ich werde später versuchen, blos aus den gegebenen Beobachtungs- und Messungsgrössen die Sekundenarbeit einer Taube für eine mittlere Fluggeschwindigkeit zu bestimmen.

Vorher will ich noch eine Beobachtung Darwin's einschalten, die in seinem Werke „Reise eines Naturforschers um die Welt" beschrieben ist und die eine sehr gute Vorstellung von diesem arbeitslosen Fliegen Demjenigen gibt, welcher noch nie Gelegenheit hatte, das Segeln von grössern Vögeln zu beobachten.

„Die Condors halten sich hauptsächlich an einer senkrechten Klippenreihe an der Mündung des Santa Cruz auf. Sie fliegen sehr schwer auf, auf ebenem Boden ist ihnen dies, ohne einen Anlauf zu nehmen, gar nicht möglich, dafür schweben sie in einer gewissen Höhe in den graziösesten Bögen. Ich bin überzeugt, dass sie dies oft nur zum Vergnügen thun. In der Nähe von Lima habe ich mehrere Condors beobachtet, die sich im Kreise und im Bogen bewegten, senkten und erhoben, ohne einen einzigen Flügelschlag zu thun.

Als sie dicht über meinem Haupte hinglitten, beobachtete ich die äussersten Schwungfedern in schräger Richtung, sie hoben sich scharf vom Himmel ab. Wäre die geringste schwingende Bewegung gewesen, so würden die einzelnen Federn wie verschwommen erschienen sein.

Der Kopf und Hals wurden häufig dem Anscheine nach mit Heftigkeit bewegt und die ausgestreckten Flügel schienen den Stützpunkt zu bilden, auf welchen die Bewegungen des Halses, Kopfes und Schwanzes wirkten. Wenn der Vogel niedersteigen wollte, so wurden die Flügel für einen Augenblick zusammengefaltet, wurden sie wieder ausgestreckt und zwar in einer etwas veränderten Neigung, so schien die durch das schnelle Herabfahren erlangte Bewegung den Vogel mit der gleichmässigen und stetigen Bewegung eines Papierdrachen nach aufwärts zu treiben.

In dem Falle, wo ein Vogel schwebt, muss seine Bewegung hinreichend schnell sein, so dass die Wirkung der geneigten Ebene seines Körpers auf die Atmosphäre, seiner Schwere das Gleichgewicht hält. Die Kraft, welche nöthig ist, das Bewegungsmoment eines sich in einer horizontalen Ebene in der Luft, wo so wenig Reibung vorhanden ist, bewegenden Körpers zu erhalten, kann nicht gross sein und diese Kraft ist alles, was eben nöthig ist. Die Bewegung des Kopfes und Halses ist, wie wir annehmen können, hinreichend genug.

Wie sich dies aber auch verhalten mag, es ist wahrhaft wunderbar und prachtvoll, einen so grossen Vogel, Stunde um Stunde ohne irgend welche Anstrengung über Berge und Flüsse schweben zu sehen."

Wenn wir einmal mit der Grösse der Schwebearbeit bekannt sind (die Darwin ganz richtig als Wirkung der geneigten Ebene seines Körpers (also hauptsächlich der Flügel) auf die Atmosphäre definirt, welche Wirkung der Schwere das Gleichgewicht halten müsse) würde eine einfache Rechnung zeigen, dass das Vorstossen des Kopfes allein nicht genügen könnte, um die Schwebearbeit zu verrichten, sondern dass noch die Hilfe einer Luftströmung beansprucht werden muss, um ohne Flügelschlag zu fliegen.

Unter anderem heisst es, ohne einen Anlauf zu nehmen, ist es ihnen nicht möglich, vom ebenen Boden aufzufliegen. Das lässt also darauf schliessen, dass der hebende Luftwiderstand grösser wird, wenn der Vogel während dem Flügelschlag sich zugleich nach vorwärts bewegt, wenn also der Flügel die Luft unter einem spitzen Winkel mit grösserer Geschwindigkeit trifft (siehe Fig. 19).

Bei Ausführung der Arbeitsberechnung einer Taube werden wir finden, einen wie viel mal kleineren Weg der Flügel nach abwärts machen muss, wenn er sich zugleich nach vorwärts bewegt, als wenn er ohne Vorwärtsbewegung durch Niederschlag den genügenden hebenden Luftwiderstand hervorrufen soll. Es wird sich zeigen, eine wie viel mal kleinere Schwebearbeit der Flügel im ersteren Falle zu verrichten hat.



III. SCHWEBEARBEIT.

Definition derselben — Verneinung der Nothwendigkeit einer solchen und Widerlegung dieser Ansicht — Stützmechanismus mit unnachgiebigen Stützpunkten — der Gleiche mit nachgiebigen Stützpunkten (Schwebeapparat) — Schwebearbeitsgrössen, bestimmt aus den gebräuchlichen Luftwiderstandsformeln — Arbeitsunterschied des doppelten und einfachen Schlagwerks.



Zuerst ist es nothwendig, das, was man unter Schwebearbeit versteht, genau zu definiren.

Ein Körper, welcher auf einer festen Unterlage ruht, hat keine Arbeit zu leisten, um seinen Standpunkt beibehalten zu können. Ist aber die Unterlage, auf welche er sich stützt, nachgiebig, und zwar in der Weise, dass sie in einer Zeiteinheit unter dem Einfluss des Druckes G den Weg s zurücklegt, so hat zwischen Körper und Unterlage die constante Kraft G auf einem Weg s zu wirken, also vom Körper die Arbeit $G \cdot s$ ausgehen müssen (siehe Fig. 20).

Ist diese bewegliche, nachgiebige Unterlage Luft, so wird man als Angriffsmittel für die Kraft G eine entsprechend grosse Fläche wählen müssen. Je grösser diese Fläche ist, um so kleiner wird der Weg s und um so kleiner die Arbeit G . s werden, denn man sieht leicht, dass im letzteren Falle durch die Kraft G die Trägheit einer viel grösseren Luftmasse überwunden werden muss als im ersteren, dass also der Weg s, den diese Masse unter dem Einfluss der Kraft G in der Zeiteinheit zurücklegt, ein kleinerer sein muss.

Diese Arbeit G . s nennt man Schwebearbeit. Man könnte sie auch Stützarbeit nennen.

Eine solche Schwebearbeit wird ein Körper stets leisten müssen, wenn er sich in einem nachgiebigen Medium im Gleichgewicht mit der Anziehungskraft der Erde auf ihn erhalten soll und er schwerer als dieses Medium ist.

Je dichter dieses Medium und je mehr das Angriffsmittel des Körpers geeignet ist, auf ein möglichst grosses Massenquantum desselben zu wirken, um so kleiner wird die Schwebearbeit sein.

Eigenthümlicher Weise tauchen immer von neuem wieder Flugtheorien auf, welche die Nothwendigkeit einer solchen Schwebearbeit verneinen, welche behaupten, wenn sich ein Körper auf gewisse Weise in der Luft bewege, so habe er nur den Luftwiderstand und die Luftreibung zu überwinden, genau so, wie wenn er sich auf fester Unterlage bewegen würde, sie betrachten die Luft in der Weise als elastische Masse, dass sie annehmen, die durch das Drücken auf sie erzeugte Comprimirung und desshalb erhöhte Spannung werde wieder vollständig an den drückenden Körper abgegeben.

Ich will diese Vorstellung ungefähr in folgender Weise versinnbildlichen (siehe Fig. 21).

P sei eine grössere von allen Seiten gut umschlossene (ausser der oberen) absolut elastische Gummiplatte. Setze ich eine Kugel oder eine Walze darauf (siehe Fig. 1) gebe ihr nachher einen Stoss, so wird sie zuerst einsinken (siehe Fig. 2) und dann vorwärts sich bewegen. Unter ihr wird stets ein Theil des Gummis in comprimirtem Zustand sein und als eine Summe von tragenden Kräften (siehe Fig. 22) sich darstellen, wobei stets die gleichzeitig nach rückwärts wirkenden, durch die nach vorn gerichteten wieder aufgehoben werden, also die Resultirende sämmtlicher einfach der Schwere des Körpers das Gleichgewicht hält, es wird nicht mehr und nicht weniger von der lebendigen Kraft des Körpers aufgezehrt, als wenn er auf einer ganz unelastischen Platte gelaufen wäre, also nur was zur Ueberwindung der rollenden Reibung und des Luftwiderstandes nothwendig ist.

Bei dieser Art von nachgiebigen Mitteln ist allerdings keine Schwebearbeit nothwendig.

Man darf aber die Luft nicht als ein solches auffassen.

Bewege ich eine Fläche unter einem spitzen Winkel zur Bewegungsrichtung (siehe Fig. 23) durch die Luft, so findet auf der Unterfläche ein Zusammendrücken von Lufttheilchen statt, welche hemmend und zugleich tragend auf dieselbe wirken. Dieselben suchen sich aber sofort wieder auszudehnen, weil zwischen ihnen ein Ueberdruck gegenüber der Umgebung herrscht. Sie stossen bei dieser Ausdehnung auf die umgebende Luftmasse, setzen dieselbe in eine von der Fläche wegstrebende Bewegung nach vorn und unten.

Diese der Luftmasse mitgetheilte Energie (leb. Kraft) wird natürlich der Fläche nie mehr zurückgegeben, obwohl sie die Ursache ihres Vorhandenseins ist und hierin liegt eben der Unterschied gegenüber derjenigen Gattung von nachgiebigen Mitteln, wie sie die Gummiplatte repräsentirt.

Die in dieser Luftmasse vorräthige und in den übrigen Luftraum sich vertheilende Energie entspricht der Grösse der Schwebearbeit.

Es lässt sich allerdings vorstellen, ein Theil der Comprimirung könne wieder ausgenützt werden in vorwärtsschiebendem statt in hemmenden Sinne, auf die Weise, dass man sich die Fläche wieder aufsteigend fortgesetzt denkt.

Ist die Geschwindigkeit der Fläche nicht so gross, dass gar kein Druck auf den hinteren aufsteigenden Theil mehr denkbar ist, weil er zu rasch ausweicht, so darf man annehmen, da die Fläche in einen Bruchtheil einer Zeiteinheit von I nach II gerückt ist, die Ausdehnung und Ausgleichung mit der übrigen Luft, der in der Stellung I zusammengedrängten Lufttheilchen habe sich erst theilweise vollzogen, und könne nun noch tragend und wieder vorwärtsschiebend auf diesen hintern Theil der Fläche wirken, um auf diese Weise die vorher erlittene Hemmung durch eine Beschleunigung wieder zu ersetzen, resp. der in diesem Moment entstehenden hemmenden Wirkung neuer Lufttheilchen, eine Gegenwirkung entgegenzustellen.

Den obern Theil dieser ab- und aufsteigenden Fläche denke man sich ausgefüllt mit horizontalem Abschluss, damit der Einfluss der Luft auf ihre obere Seite nicht zu berücksichtigen ist.

Die Form des Rumpfes des Vogels weist darauf hin, dass wirklich eine Ausnützung der vom Vordertheile verdrängten Luft, in diesem Sinne vorkommt. Die Behandlung des Querschnittswiderstandes (siehe VIII) wird uns wieder auf diesen Passus zurückführen und weitere Folgerungen werden sich daraus ergeben.

Da nun durch einfache Argumente nachgewiesen worden (was später durch Beschreibung von einigen Versuchen noch erhärtet wird), dass eine gewisse Luftmasse unter allen Umständen in Bewegung gesetzt wird, und dieses in Bewegungsetzen eine gewisse Arbeit erfordert, die als Stütze für ihre Thätigkeit den Körper benützt, welcher dadurch eben im gewünschten Gleichgewicht mit seiner Schwere sich hält, so wird der geehrte Leser keinen Zweifel mehr hegen, dass, um einen Körper in der Luft, sei es nun ohne oder mit Vorwärtsbewegung in gleicher Höhe zu erhalten, eine solche Schwebearbeit, die man auch verlorene Arbeit nennen könnte, zu leisten ist. Man kann sich die nachgiebigen Stützen in der Weise angebracht denken, wie es Fig (24) zeigt.

Wir haben dann das Schema des Mechanismus des Vogels vor uns.

Ist der Zug, der von den Motoren (Brustmuskeln) ausgeht, so gross, dass, wenn man sich statt der Flächen vorläufig noch feste Stützen denken würde, derselbe das ganze System gerade im Gleichgewicht erhalten würde, so wäre der Druck auf je eine Stütze $= \frac{G}{2}$. Der Zug selber, der von jedem Motor ausgeht, müsste natürlich $= \frac{G}{2} \cdot \frac{L}{l}$ sein.

Soll nun G nicht blos im Gleichgewicht bleiben, sondern auch noch gehoben werden, in einer gewissen Zeit t um ein gewisses Stück s und zwar muss, wenn die mittlere Höhenlage der Masse M während einer Reihe von Auf- und Abbewegungen die gleiche bleiben soll, dieses Wegstück s gleich dem Fallweg sein, welchen die Masse zurücklegt, wenn kein Stützen stattfindet, so ist selbstverständlich ein grösserer Zug nothwendig und es muss diese Zugvermehrung so gross sein, dass derselbe durch Einwirkung auf die Masse von M während dieser Zeit, eine Ortsveränderung von der Grösse s in der Zugrichtung bei ihr bewirkt.

Soll z. B. der in der Zeit t zurückgelegte Weg s gerade so gross sein wie der Weg, den M unter der Einwirkung der Schwere in dieser Zeit zurücklegen würde, so muss auf M der Zug Z = G wirken.

Es hätte also im Ganzen auf die Masse M der Zug Z + G = 2 G. nach aufwärts zu wirken, um dieselbe nach oben so zu beschleunigen, dass sie in der Zeit t den Weg s zurücklegt. Jede Stütze muss dann einen Druck $(\frac{Z + G}{2}) = G$ aushalten. Und der Zug, der jetzt von jedem Motor auszugehen hätte, wäre $G\frac{L}{l}$

Wird mehr Zeit gewährt für die gleiche Leistung, so wird Z kleiner als G und zwar dem Quadrate des Zeitverhältnisses entsprechend, wie sich aus der bekannten Gleichung $s = \frac{a.\ t^2}{2}$ ergibt.

Wird z. B. diese Wirkungszeit statt t gleich 2 t, so müsste Z blos die Grösse von $\frac{G}{4}$ haben, also die gesammte auf M nach oben wirkende Kraft gleich $1\frac{1}{4}$ G und desshalb auch der Druck auf die beiden Stützen gleich $1\frac{1}{4}$ G sein.

Kehren wir nach dieser Abschweifung wieder zu den nachgiebigen Stützen, zu den luftverdrängenden Flächen zurück.

Alle Beziehungen bleiben gleich wie bei den festen Stützen, nur ist der grosse Unterschied vorhanden, dass während der Wirkungszeit t der Motoren diese Flächen sich um den Weg s' nach abwärts bewegen. Ihre Geschwindigkeit auf diesem Weg s' muss gerade so gross sein, dass der erzeugte Luftwiderstand dem von M ausgehenden, von oben nach unten wirkenden Druck (G + Z) gleich ist.

Dieser Zug (G + Z) nach aufwärts auf den Rumpf, resp. Druck nach abwärts auf die Flügel muss nicht blos den Weg s, sondern auch noch den Weg s' zurücklegen, also ist die von ihm geleistete Arbeit A = (G + Z.) — (s + s').

Es drängt sich nun (im Hinblick auf das tiefere Eintreten in die dynamischen Vorgänge beim Flug) die Frage auf, was geht, wenn M in O angelangt ist, von dieser Arbeit verloren und welchen Theil kann man

als einfach aufgespeicherte Arbeit betrachten, die zu irgend welchem Zwecke wieder verwendbar wäre.

Verloren geht die Stütz- oder Schwebearbeit (G + Z) s, darüber kann für uns kein Zweifel mehr herrschen.

Es bleibt also noch als Rest übrig die Arbeit.

$$(G + Z)\, s = G\, s + Z\, s \quad .$$

Diese kann vollständig als nutzbarfähiger Vorrath betrachtet werden.

M ist von N bis O hin immer mehr beschleunigt worden, durch den Kraftüberschuss Z, (G war nothwendig um der Schwere von M das Gleichgewicht zu halten).

Also steckt im O angelangt, in M die lebende Kraft Z · s, welche dazu verwendet gedacht werden kann, dass durch sie M frei in die Höhe steigt (in die Höhe geworfen wird) nach F.

Von jezt an kann die Wiedergewinnung der Arbeit G s + Z s beginnen.

Durch die Wirkung der Kraft (G + Z) auf dem Weg s ist die Masse M auf die Höhe U F geschafft worden; dieselbe ist also umgekehrt wieder fähig eine Arbeit U F · G zu verrichten.

Bei einem Schwebeapparat könnte man diese vorräthige Arbeit dadurch wieder sammeln, dass man in der Weise wie (Fig. 25) es zeigt, Stahlfedern anbrächte, welche durch den Fall von M gespannt würden. Die in ihnen aufgespeicherte Energie würde wieder die Hebung des Rumpfes besorgen.

Fände keine Wiedererstattung der Arbeit (G + Z) s in dieser Weise statt, so ginge dieselbe vollständig nutzlos verloren, zudem würde, wenn die Grenze der untersten Lage erreicht wäre, also eine mechanische Hemmung gegen das Tieferfallen stattfinden müsste, ein plötzlicher Stoss nach abwärts und desshalb ein Reissen in den Construktionstheilen entstehen; selbstverständlich wird in Folge des Vorhandenseins eines solchen Accumulators (einer Feder) der Fallweg s des Rumpfes während der Flächenhebung bedeutend kleiner, desshalb auch die Arbeit (G + Z) s eine geringere, nicht blos weil dieser Weg s kleiner würde, sondern weil desswegen auch die den Rumpf nach aufwärts beschleunigende Kraft Z nun kleiner sein dürfte.

Bei den Flügeln, welche beim natürlichen Flieger die stützenden Flächen sind, hat man sich (wie schon einmal angeführt wurde) die Stützpunkte, die Angriffspunkte des Luftdrucks auf die Flügelflächen in der Mitte der Flügellänge vorzustellen, aber nur unter der Voraussetzung, dass sich der Vogel ohne Vorwärtsbewegung durch Flügelschläge schwebend erhielte, sowie der Vogel fliegt, wobei die Geschwindigkeit des Flügels nach abwärts im Verhältniss zu derjenigen nach vorwärts klein ist, rückt dieser Angriffspunkt näher zum Rumpf bis zum Schwerpunkt s' der

Flügelfläche, denn die Geschwindigkeit, womit die Unterseite des Flügels die Luft trifft, ist gegen aussen unbedeutend grösser als in der Nähe des Rumpfes.

Wie beim Vogel das Fallen des Rumpfes vor sich geht, werden wir später sehen. Dass dieses so nützlich als möglich geschieht, dürfen wir jetzt schon als sicher voraussetzen, denn es ist nicht einzusehen, dass die Natur von ihrer Erfindungsgabe neben welcher die genialste menschliche Erfinderkraft zwergenhaft dasteht, an dieser Stelle im Stiche gelassen worden wäre und eine Benachtheiligung eines ihrer Geschöpfe gegenüber andern gestattet, indem sie durch constructiv fehlerhafte Anpassung seines Organismus an das Medium, in welchem es sich bewegen muss, demselben bei seiner Hauptthätigkeit ein Hinderniss in den Weg legen würde, dass derselbe beim Fliegen noch eine Arbeit leisten müsste ausser dem Arbeitsaufwand (Schwebearbeit und Querschnittsarbeit), welcher durch die Eigenschaft des Mediums bedingt ist.

Ich will hier versuchen, die Frage nach absoluten Arbeitswerthen, welche für das Schweben an gleicher Stelle nothwendig wären, zu beantworten, indem ich dabei die zuverlässigsten bisherigen Versuchsresultate und die daraus gebildeten Formeln benütze.

Es ist die Grösse des Luftwiderstandes auf eine ebene oder leicht gekrümmte Fläche, welche senkrecht zu ihrer Bewegungsrichtung steht, und die sich mit der Geschwindigkeit V gegen die Luft bewegt, oder welche umgekehrt bei Stillstand von einem Winde getroffen wird, der die Geschwindigkeit V besitzt

1) $D = 0{,}13\ F\ V^2$ (wobei F die Flächengrösse in □metern, V die Geschwindigkeit in Metern und D die Grösse des Druckes auf die Fläche in Kilogramm bedeutet). Der Coeffizient 0,13 ist durch Versuche gefunden worden, ebenso die Thatsache, dass die Grösse des Luftdruckes, den die Fläche auszuhalten hat, vom Quadrate der Geschwindigkeit abhängig ist. Die Versuchsresultate decken sich hierin mit der theoretischen Voraussetzung (siehe ärodynamische Vorgänge).

Wird eine Kante einer solchen rechteckigen Versuchsfläche als Drehaxe benützt, so vergrössert sich dieser Druck bedeutend, weil durch die centrifugirende Wirkung mehr Luft unter die Fläche gelangt, er wird etwa 2—3 mal grösser.

Es wird $D = 0{,}3\ F\ V^2$ . . . . 2).

Für V muss man diejenige Geschwindigkeit annehmen, welche der Druckangriffspunkt hat. Bei einer rechteckigen Fläche befände sich derselbe in einer Distanz von $^2/_3$ ihrer Länge von der Drehaxe entfernt.

Diese Formeln gelten nur für Fälle, wo die Bewegung der Fläche in continuirlicher Weise (geradlinig oder in einem Kreise) erfolgt.

Sowie die Fläche aus der Ruhe plötzlich in Bewegung gesetzt wird und dann einen gewissen Weg s in einer Sekunde zurücklegt, wird die Druckgrösse eine andere. Versuche zeigten,*) dass für kleine Flächen (Bruchtheile von einem □ meter)

$$D = 1{,}17\ F\ V^2 \ldots . \quad 3)$$

und für grössere Flächen

$$D = 3{,}25\ F\ V^2 \text{ wird} \ldots . \quad 4).$$

Die Bewegungsart eines solchen Schlagwerks würde derjenigen der Vogelflügel am nächsten gleichkommen, nur mit dem Unterschiede, dass dort eine continuirlichen echselwirkung Wvon zwei Paar solcher Schlagflächen stattfand, um den zu hebenden Körper in gleicher Höhe zu erhalten, während der Vogel nur ein Paar hat und bei ihm, in Folge seines gleichzeitigen Vorwärtsfliegens keine Ventilvorrichtung nothwendig ist.

Ein Erklärungsversuch für diese ungemeine Wirkungsvermehrung gegenüber der continuirlichen Bewegung wird in dem Abschnitt über dynamische Vorgänge sich finden.

Rechnet man für bestimmte Masse die Schwebearbeit aus und nimmt man dabei diejenigen einer Taube, (wir sehen aus der Tabelle, dass bei ihr auf 1 □ meter Flügelfläche eine Belastung von 6,7 Klgr. käme oder auf 1 Klgr. eine Fläche von 0,134 □ meter; so ergibt sich

aus Formel 1) $V = 7$ Meter. Also wäre die Sekundenarbeit, um 1 Klgr. in gleicher Höhe zu erhalten = 7 Kilogrmtr.

aus Formel 2) $V = 4{,}7$ Meter. Also wäre die Sekundenarbeit, um 1 Klgr. in gleicher Höhe zu erhalten = 4,7 Klgrmtr.

aus Formel 3) $V = 2{,}5$ Meter. Also wäre die Sekundenarbeit, um 1 Klgr. in gleicher Höhe zu erhalten = 2,5 Klgrmtr.

Eine Taube hätte also nach Formel 3), um sich schwebend an gleicher Stelle in der Luft zu erhalten, eine Arbeit von 0,72 Klgrmtr. zu leisten. Würde pro Kilo 1 □ meter Tragfläche gerechnet, so würde die Sekundenarbeit blos 1 Klgrmtr. betragen.

Diese Arbeitsgrössen gelten wie gesagt nur für ein continuirlich wirkend gedachtes doppeltes Schlagwerk, bei welchem das Gewicht der Schlag- oder Stützflächen als sehr klein in der Rechnung vernachlässigt wird und bei welchem man annimmt die Ventilklappeneinrichtung sei eine vollkommene, es findet also bei der Hebung der Flächen kein schädlicher Luftwiderstand auf der Rückseite statt.

Ist das Schlagwerk ein einfaches (Vogel) und die Zeit des Niedergangs der Flächen sei X mal so gross, wie die Zeit ihrer Hebung, so muss, wenn die in der Schwebe zu haltende Masse am Ende einer Doppelbewegung wieder an der gleichen Stelle sein soll, wie am Anfang derselben, zwischen der Masse und den Stützflächen die Kraft y.G wirken.

---

*) Lilienthal in Berlin machte seiner Zeit Versuche mit sogenannten Schlagwerken und ich benütze hier seine Resultate.

Für X = 2 wurde, wie wir früher sahen, y G = $1^1/_4$ G, es ergibt sich aus der Formel 3); bei obiger Flächenbelastungsannahme v = 2,64.

Nehmen wir der Einfachheit halber an, eine Doppelbewegung dauere gerade eine Sekunde, so ist also der Weg, den die Stützflächen nach abwärts zurücklegen s = 2,64 · $^2/_3$ = 1,76 meter und desshalb die Stützarbeit = 1,76 · $1^1/_4$ = 2,2 Kilogrmtr. während einer Doppelbewegung oder einer Sekunde.

Nähme man unter sonst gleichen Umständen an, es sei X = 1, also die Niedergangszeit der Flächen gleich ihrer Hebezeit, so würde y G = 2 G; und v = 3,6 Meter. Also s = 1,8 Meter und die Stützarbeit = 3,6 Kilogrammmeter per Sekunde.

Rechnet man für verschiedene Grössen von X die Arbeitswerthe aus, so wird man finden, dass wenn X = 2 ist oder auch blos 3 erreicht, beinahe die gleichen obigen kleinsten Arbeitswerthe herauskommen.

Dieses einfache Schlagwerk würde also unter den günstigsten Bewegungsbedingungen bei gleicher Aufgabe weniger Arbeit erfordern als das Doppelte, trotz dem doppelt so grossen Flächenaufwand des letzteren.

Sowie aber X kleiner würde als 2 und schliesslich zu 1 wird, so vergrössert sich die Schwebearbeit und wird beim einfachen Schlagwerk bedeutend grösser als beim doppelten.

Diese einfache Darlegung nimmt der hie und da sich zeigenden Behauptung, dass die Insekten, welche mit Doppelflügeln versehen seien, dieselben im Sinne eines continuirlichen Schlagwerks bewegen, jeden Halt.

Sie wirken gleichzeitig wie eine Flügelfläche, machen desshalb nicht blos die durch obige Darlegung bedingte Ersparniss an Arbeit, sondern eine zweite dadurch, dass sie um eine viel grössere Schlagfläche besitzen, als wenn sie dieselbe getheilt, gegenläufig bewegen würden.

Wir wissen aber, dass Vergrösserung der Schlagfläche Verminderung der Schwebearbeit bedeutet; dass das arbeitssparendste Zeitverhältniss zwischen Hebe- und Schlagzeit aufgesucht wird, versteht sich von selbst.

Bei Insekten sowie bei kleinern Vögeln, ist die Zahl der Flügelschläge so gross per Sekunde, dass der Fall ihres Rumpfes während der Hebung der Flügel kaum in Betracht kommen kann, es braucht bei diesen Geschöpfen desshalb gar keine Vorkehrung getroffen zu sein, welche die durch Rumpfhebung verursachte Arbeitsvermehrung durch Ausnützung des Rumpffalles wieder ersetzt.



IV. SCHWEBEARBEIT BEI VORWÄRTSBEWEGUNG DES FLIEGERS.

Beobachtete Arbeitsersparniss — Bewegungsweise der Schwebeflächen um im Winde den Flieger an gleicher Stelle zu erhalten — Berechnung der Secundenarbeit einer Taube — Verhältniss von Schwebe- und Querschnittsarbeit bei derselben — Beziehung dieser Resultate auf eine Flugmaschine — Ursache des Grössenunterschiedes dieser beiden Schwebearbeiten (III und IV) — Normalgeschwindigkeit einer tragenden Fläche bei bestimmter Belastung — Der Schwebewinkel — Die Tragfähigkeit einer Fläche wächst im Quadrate mit der Geschwindigkeit.



In Bezug auf die Schwebearbeit sehen wir also, dass danach zu trachten ist, den Stützflächenweg s' möglichst klein zu erhalten. Es wird dies durch gleichzeitiges Vorwärtsbewegen des Schwebeapparates bewirkt. Die Beobachtung zeigt, dass bei einer gewissen Geschwindigkeit nach Vorwärts der Vogel mit bedeutend geringerem Arbeitsaufwand fliegt, als wenn er an gleicher Stelle oder nur mit geringer Fluggeschwindigkeit sich schwebend in der ursprünglichen Höhe erhalten muss. (Man erinnere sich an die angeführte Beobachtung Darwin's.)

Er schlägt in letzterem Falle die Flügel viel heftiger nieder und die Schläge folgen sich viel rascher als in ersterem. Daraus folgt, dass bei gleichzeitigem Vorwärtsfliegen die Schwebearbeit eine viel geringere ist.

„Durch Vorwärtsbewegung des Apparates oder des Vogels bis zu einer gewissen Geschwindigkeit tritt Ersparniss an Schwebearbeit ein, verglichen mit derjenigen, welche für das Verbleiben an gleicher Stelle erforderlich ist.“

Für einen Schwebeapparat entsteht durch das Vorwärtsfliegen noch der Vortheil, dass keine Ventileinrichtung da sein muss um die Luft bei der Hebung der Flugflächen durchzulassen. (Dies ist ersichtlich aus der

früheren annähernden Darstellung der Flügelbewegungen des Vogels während einer Flugphase.)

Da wir einen ungefähren Begriff von der Grösse der Schwebearbeit für einen an der Stelle verbleibenden Apparat haben, so möchten wir wissen wie gross die Ersparniss an Schwebearbeit für denselben wird wenn er sich vorwärts bewegt, also fliegt. Da uns keine mechanische derartige Einrichtung zur Verfügung steht, so benützen wir zur Schätzung der Arbeit beim Fliegen einen bekannten Vogel, die Taube.

Ich muss vorher in Kürze zeigen auf welche Weise bei einem intermittirenden Schwebeapparat eine Vorwärtsbewegung zu bewerkstelligen ist, ohne dass neue Construktionstheile dazu kommen müssen.

Statt der Vorwärtsbewegung des Apparates in ruhiger Luft kann man auch annehmen, er habe an gleicher Stelle in gleicher Höhe einer horizontalen Windströmung Stand zu halten. Die letztere Erklärungsform erleichtert das Verstehen und ich werde dieselbe noch öfters benützen.

(Siehe Figur 26.) Um die rücktreibende Wirkung des Windes aufzuheben, ist eine nach vorn wirkende Componente q nothwendig, diese erzeugt sich dadurch, dass die Stützfläche etwas nach vorn geneigt wird. Es zerlegt sich der Druck N auf die Stützfläche in eine horizontale Componente q und eine Vertikale K, welch' letztere die Grösse der zwischen M und F wirkenden Kraft haben muss, und durch welche die Geschwindigkeit von F nach abwärts bedingt ist-

Das Verhältniss ist gleichbedeutend, wie wenn ein Wind von der Grösse und Richtung i (die Resultirende aus der Windgeschwindigkeit und der Schlaggeschwindigkeit der Fläche) die Fläche treffen würde, wenn sie bewegungslos wäre.

Ist der Niederschlag beendigt, so wird die Fläche nach aufwärts geneigt und zwar so, dass diese Neigung mit der Richtung der Resultirenden aus der Wind- und Eigengeschwindigkeit nach aufwärts zusammenfällt. Sie wird auf diese Weise keinen andern als einen Stirnwiderstand erleiden (es ist also jede Ventileinrichtung überflüssig) und es muss nur Arbeit zu ihrer Hebung geleistet werden, welche wir vorläufig vernachlässigen.

Die Componente q muss etwas grösser sein als die zurücktreibende Kraft des Windes, damit das ganze System noch um so viel nach vorn beschleunigt wird, als es während der Hebung der Stützfläche zurückgetrieben wurde vom Winde. (Man erinnere sich an die Flugbilderklärung.)

Wäre die Hebezeit gleich die Schlagzeit, so müsste die vortreibende Componente gleich 2 q sein. Ist sie die Hälfte der Schlagzeit, wo also der Wind nur während der halben Zeit auf das System wirken kann und dafür die Beschleunigung nach vorn, während dem Niederschlag doppelt so viel Zeit beanspruchen darf, so muss wie sich leicht ergibt die

beschleunigte Kraft nach vorn gleich $1^1/_4$ q sein. (Geht aus der Formel $\frac{a \cdot t^2}{2}$ hervor.)

Fig. (27) zeigt den Weg der einzelnen Theile während dieser Doppelbewegung.

Man sieht, dass der Weg h nach abwärts multiplizirt mit der zwischen M und F wirkenden Kraft die Gesammtarbeit angibt, welche bei einer solchen Doppelbewegung geleistet werden muss, um schweben und gleichzeitig einem Winde von der Geschwindigkeit v Stand halten, um bei Windstille mit der Geschwindigkeit v sich nach vorwärts bewegen zu können.

Bei der Taube zeigt die Beobachtung, dass sie bei einer Fluggeschwindigkeit von ungefähr 10 meter drei Flügelschläge per Sekunde macht. Der Schlagwinkel beträgt dabei etwa 60^0.

Da der Flächenschwerpunkt des Taubenflügels (wie die Messung an dem vor mir liegenden ergibt) ungefähr 12 cm. vom Drehpunkt desselben entfernt ist und dieser mit dem Druckangriffspunkt beinahe zusammenfällt, so ist der Weg, den letzterer beim Niederschlag macht, ebenfalls gleich 12 cm.

Wir benützen die vorher durch Rechnung gefundene günstigste Voraussetzung, welche durch die Naturbeobachtung bestätigt wird, nämlich diejenige, welche die Schlagzeit der Flügel als doppelt so gross wie die Hebezeit annimmt, dann ist die Sekundenarbeit der Taube, da zwischen ihrem Rumpf und ihren Flügeln ein Zug von $1^1/_4$ G auf dem Wege von 12 cm. Länge, dreimal während einer Sekunde wirkt. $A = 3 \; 1^1/_4 \; G \; 0{,}12$.

Dem vereinfachten Einblick zu lieb wollen wir das Gewicht der Flügel nicht berücksichtigen. Dass das Resultat desswegen doch das gleiche bleibt, geht daraus hervor, dass beim Rumpffall der Rumpf durch die eigene Schwere plus das Flügelgewicht nach abwärts beschleunigt wird, also durch eine Kraft, welche gleich dem Gesammtgewicht ist. Bei der Rumpfhebung ist die beschleunigende Kraft, die auf den Rumpf nach oben wirkt, dem Verhältniss der beiden Zeiten entsprechend, $1^1/_4$ mal das Gesammtgewicht. Es ist also vollständig die gleiche Sekundenarbeit erforderlich, ob die Flügel gewichtlos oder blos $^1/_7$ oder $^1/_4$ des Gesammtgewichtes schwer wären. Nun ist, da G = 0,3 Klgr., die Flugarbeit der Taube während einer Sekunde bei dieser mittlern Geschwindigkeit von 10 metern:

$$A = 3 \cdot 1^1/_4 \; 0{,}3 \cdot 0{,}12 = 0{,}135 \text{ Klgmtr.}$$

Der zur Flügelhebung nothwendige Kraftverbrauch wird dabei vernachlässigt, weil er beim Flügelniederschlag durch das Flügelgewicht selbst wieder ersetzt wird.

Ohne weitere Kenntniss der aerodynamischen Vorgänge, von den intimern Beziehungen zwischen Flügel und Luft, ist es möglich gewesen,

die ungefähre Arbeitsgrösse zu bestimmen, welche ein Vogel von bekanntem Gewicht und bekannter Flugflächengrösse leisten muss, um horizontal vorwärts zu fliegen, man hatte weiter nichts nöthig, als durch öftere Beobachtung den Schlagwinkel der Flügel, die Anzahl der Flügelschläge, sowie die Fluggeschwindigkeit zu schätzen, um eine richtige Vorstellung von der Schwebearbeit zu haben.

Genau genommen müsste nicht einmal der ganze Weg von 12 cm in Betracht gezogen werden.

Von dem Momente an, wo der Rumpf frei in die Höhe steigt und dabei seine durch die vorherige Beschleunigung nach oben erhaltene lebendige Kraft verzehrt, bis er keine Geschwindigkeit nach oben mehr besitzt (siehe einfaches Schwebewerk) wird auch kein Zug zwischen ihm und den Flügeln mehr stattfinden dürfen. Die Flügel werden sich in Folge der Geschwindigkeit nach abwärts, welche sie noch besitzen, um ein Stück weiter bewegen, bis dieselbe durch den auf sie einwirkenden Luftdruck ebenfalls allmälig aufgehoben wird. Sie müssen sich während der Bewegung auf diesem Wegstück zugleich etwas nach aufwärts drehen, um in die rechte Lage für ihre Hebung zu kommen.

Da der Muskelzug nicht auf dem ganzen Weg von 12 cm herrscht, so würde also die Flugarbeit in Wirklichkeit noch kleiner, als die berechnete sein und das um so eher, wenn wir gleichzeitig annehmen, dass das Fallen des Rumpfes in irgend einer Weise accumulirt oder zum mindesten verzögert werde, so dass sein Weg nach abwärts während der Flügelhebung kleiner ausfällt, als vorausgesetzt wurde, dass also auch der während dem Niederschlag zwischen Rumpf und Flügel herrschende Muskelzug noch kleiner als $1^1/_4$ G sein darf.

Ich mache diese nachträglichen Andeutungen nur, um zu zeigen, dass wir bei unserer Arbeitsberechnung eine maximale Grenze inne haben.

In welcher Weise theilt sich diese Gesammtarbeit in Schwebearbeit und Querschnittsarbeit?

Nach Versuchen von Pénaud, welche dieser an Vogelkörpern mit Hilfe eines Rotationsapparates machte, ist der Reductionscoefficient desselben in Folge ihrer zugespitzten Form = $^1/_7$, d. h. der durch die Bewegung des Vogelkörpers auf ihn stattfindende Luftwiderstand beträgt $^1/_7$ von demjenigen, welchen eine Fläche von der gleichen Grösse wie der Querschnitt des Vogelkörpers, auszuhalten hätte, wenn sie mit dieser Geschwindigkeit bewegt würde.

Bei der Taube ist die Grösse des Querschnitts ungefähr 28 □cm.

Für eine Geschwindigkeit von 10 Meter ergiebt dies einen Querschnittwiderstand von 0,13. 0,003. 100 = 0,006 Klgr. und eine Querschnittsarbeit von 0,006. 10 = 0,06 Kilometer, was also fast die Hälfte der Gesammtarbeit ausmachen würde.

Alle diese beispielsweisen Berechnungen sollen nicht als absolut richtige Daten, sondern nur in dem Sinne aufgefasst werden, dass sie eine annähernde Vorstellung zu geben haben von den Grenzen innerhalb deren sich der Energieaufwand der Luftbewohner bewegt.

Der Arbeitsäusserung der Taube zufolge wären also rund 0,5 Klgm. nothwendig um 1 Klgr. in gleicher Höhe während einer Secunde in der Luft zu erhalten.

Dies würde eine 10mal kleinere Arbeit sein, als sie Graffigny in seiner ersten angeführten Behauptung als massgebend aufstellt.

Der Flugapparat müsste dabei die Geschwindigkeit von 10 meter und eine tragende Fläche von 0,150 □ m Grösse pro Kilo haben.

Setzen wir voraus, wir wären im Stande eine Flugmaschine zu construiren, welche eben so gut functionirt, wie die Taube.

Ihr Gewicht sei 500 Klgr. Die Grösse ihrer Stützflächen müsste also $\frac{500}{6,7} = 75$ □ meter sein.

Die Flugarbeit müsste gleich 500. 0,5 = 250 Klgm. oder = 3,3 Pferdekräfte betragen.

Ein solcher Flugkörper könnte 1 Passagier à 80 Klgr.	=	80 Klgr.
Eine Motordampfmaschine von 3,3.40	=	132 „
Füllungen Wasser und Kohle für eine Stünde = 3,3.30	=	100 „
aufnehmen und ein Selbstgewicht von	=	188 „
haben. Summa		500 Klgr.

Torpedoboote verfügen jetzt schon über Dampfmaschinen die pro Pferdekraft nicht mehr als 30 Klgr. wiegen.

Wir haben also Aussicht fliegen zu können, ohne nach neuen motorischen Kräften uns umschauen zu müssen, wenn wir nur darnach trachten mit unsern eventuellen Flugwerkzeugen einen ähnlichen Nutzeffekt zu erzielen, wie der Vogel mit den seinigen.

Vergleichen wir obige Schwebearbeit von (0,135 — 0,6) = 0,075 Klgm. welche die Taube aufwenden muss bei der Fluggeschwindigkeit von 10 meter mit der Schwebearbeit welche für sie nach den Versuchsformeln für den Schwebeflug auf gleicher Stelle berechnet wurde, so sehen wir, da letzter gleich 0,72 Klgm. beträgt, dass ihre Schwebearbeit in Wirklichkeit beim Vorwärtsfliegen etwa 10mal kleiner ist.

Die Ursache dieses bedeutenden Unterschiedes kann man auf folgende Weise erklären (siehe Fig. 28):

Bewegt sich die Fläche um die Strecke a b nach abwärts und dabei gleichzeitig um a e nach vorwärts, so trifft sie stets auf neue Luftmassen, die sie vom Ruhezustand in Bewegung nach abwärts versetzt, während sie bei der blos abwärtsgehenden Bewegung die gleiche Luft-

masse vor sich her schiebt, diese beschleunigt und ihr mit stets vergrösserter Geschwindigkeit folgen muss, wenn sie den anfänglichen Auftrieb nach oben immer ausüben soll. Desshalb wird ihr Weg nach abwärts in der gleichen Zeit bei gleich grossem Auftrieb bedeutend grösser als im andern Fall, wo die Geschwindigkeit als gleichförmig angenommen werden muss.*)

Ich möchte den geehrten Leser ersuchen, da in Folgendem von der Drucklinie (R) von Flächen die Rede ist und wir bei unseren Betrachtungen eigentlich nur vogelflügelähnliche, also gekrümmte Flächen im Auge haben, die Verschiedenheit, die zwischen gekrümmten und ebenen Flächen in dieser Beziehung besteht, und über den Grund dieser Verschiedenheit vorerst in Kap. VIII (— Zweck der Flächenkrümmung —) nachzulesen.

Es wurde gesagt, dass, je grösser die Geschwindigkeit der Fläche ist (oder die Geschwindigkeit des Windes, welcher die stillstehende Fläche trifft), um so mehr bisher ruhende Luft trifft sie, setzt sie in Bewegung und um so kürzer wird daher bei gleicher Tragfähigkeit der Weg nach abwärts, um so kleiner die Schwebearbeit (siehe Figur 28). Diese Geschwindigkeitsvergrösserung resp. Verkleinerung der Schwebearbeit hat aber eine Grenze, von welcher an letztere wieder der per Sekunde zurückgelegten grösseren Weglänge entsprechend zunimmt.

Ich machte von Anfang an die Voraussetzung, dass die Arbeit, welche zur Ueberwindung des Stirn- und Luftreibungswiderstandes der Flügelfläche nöthig ist, zur Schwebearbeit gehört, da sie durch das Schwebewerkzeug verursacht wird. Die Lage des Flügels muss also stets, wenn wir hier vom Luftwiederstand des angehängten Rumpfes absehen, eine solche sein, dass die Horizontalcomponente der Druckresultante R (die Linie, in welcher man sich in Richtung und Grösse sämmtliche Drücke auf die Fläche vereinigt denken kann) dem Querschnittswiderstand des Flügels, durch die Partie a b c hervorgerufen, sowie der Luftreibung an ihm, das Gleichgewicht hält; mit andern Worten, dass die Resultirende D, (aus der Drucklinie R und dem Querschnittswiderstand q) senkrecht steht (siehe Fig. 29).

Es ist nun leicht ein Zustand denkbar, bei welchem die Bewegungsrichtung des Flügels eine so geringe Neigung nach abwärts bekäme und die Lage des letzteren so sein müsste, (um immer noch die gleiche Tragfähigkeit zu haben), dass die Horizontalcomponente der Druckresultante zu klein würde, um den in Folge der Geschwindigkeitsvermehrung nun auch grösseren Querschnittswiderstand des Flügels aufzuheben.

---

*) Diese Auseinandersetzungen sollen, ähnlich wie diejenigen im Kapitel über die ärodynamoschen Vorgänge nur als Hypothesen angeschaut werden, die selbstverständlich nicht den geringsten Anspruch auf Unantastbarkeit machen. Es handelt sich dabei eben um unsichtbare Dinge.

Es müsste also eine besondere Kraft hergeholt werden, um dies zu verrichten, was unmöglich ist. Die Geschwindigkeitsgrenze, bei welcher die kleinste Schwebearbeit geleistet werden muss, also die kleinste Neigung der Bewegungsrichtung nach abwärts ist dann erreicht, wenn der Flügel zu dieser Neigung gerade noch so gestellt werden kann, dass die Horizontalcomponente seiner Druckresultante die Grösse des Querschnittswiderstandes hat. So wie diese Geschwindigkeit vermehrt wird, so wächst die Schwebearbeit einfach proportional dieser Vermehrung (siehe Figur 30).

Jede Fläche kann also bei einer gewissen Geschwindigkeit mit dem geringsten Aufwand von Schwebearbeit, eine bestimmte gegebene Tragfähigkeit äussern, also per Sekunde mit dem geringsten Arbeitsaufwand ein gegebenes Gewicht in gleicher Höhe in der Luft erhalten. Diese Geschwindigkeit, welche wir als Normalgeschwindigkeit desselben bezeichnen wollen, hängt von der Grösse der Flächenbelastung und der Bauart der Fläche ab. Je kleiner der Querschnittswiderstand (darunter sei auch stets die Luftreibung verstanden) im Verhältniss zur Tragfähigkeit derselben ist, und je mehr sich die Drucklinie R der senkrechten Lage zur Bewegungsrichtung nähert, um so grösser wird die Normalgeschwindigkeit und um so geringer die Schwebearbeit sein. Für eine flache scharf gebaute Fläche ist die Normalgeschwindigkeit grösser als für eine stärker gekrümmte. Ein Vogel hat also die geringste Sekundenarbeit zu leisten, wenn er ungefähr mit der Normalgeschwindigkeit seiner völlig ausgespannten Flügelfläche fliegt. Bleiben die Flächen ausgespannt und er vergrössert die Flügelgeschwindigkeit durch stärkere Flügelneigung nach vorn, so trifft ein gleichzeitiges Steigen des Vogels ein. Will er schneller fliegen und doch horizontal bleiben, so muss er die Flügel etwas einziehen und durch diese Verkleinerung den sonst zu grossen Auftrieb auf das richtige Maass zurückführen.

Den Winkel, welchen die Bewegungsrichtung der Fläche mit der Resultante D bildet, wollen wir Schwebewinkel heissen. Seine Grösse steht im engsten Zusammenhange mit der Grösse der Schwebearbeit, je kleiner er wird, um so kleiner ist letztere.

Untersuchen wir, wie gross ungefähr der mittlere Schwebewinkel einer Fläche sein müsste, welche sich stets parallel bleibend den Taubenflügel zu ersetzen hätte.

Der Weg der Druckangriffspunkte ihrer Flügel beträgt wie wir wissen 12 cm. nach abwärts per Schlag, derselbe bewegt sich dabei um $\frac{2}{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot 10 = 2{,}2$ meter nach vorwärts. Dass ein Vogel mit seinen Flügeln von selbst den kleinsten Schwebewinkel einnehmen, resp. den Weg suchen wird, welcher beim geringsten Widerstand genügenden Auftrieb gibt, liegt auf der Hand.

Die Neigung der Bewegungsrichtung obiger Fläehe würde also 3^0 10 (aus tg $\frac{0{,}12}{2{,}2}$) betragen.

(Man sieht dabei von dem Einfluss der bogenförmigen Uebergänge des Flügels bei der untersten und obersten Lage ab.)

Da der Querschnittswiderstand des Rumpfes bei der Taube gleich 0,006 Klgr. beträgt und die Grösse der Resultante von dem Gewicht derselben abhängt, so muss diese um mindestens 1^0 10 (aus tg $\frac{0{,}006}{0{,}3}$) nach vorn geneigt sein, damit ihre horizontale Seitenkraft diesem Widerstand das Gleichgewicht hält. Der gesuchte Schwebewinkel der Ersatzfläche beträgt also höchstens $93^0\,10' - 1^0\,10' = 92^0$. Vorausgesetzt man hätte sich bei der Beobachtung des Taubenflügels geirrt, es kämen bei der Normalgeschwindigkeit 4 Flügelschläge pro Sekunde vor, dann würde eine ähnliche Berechnung ergeben, dass $= 92^0 50'$ wäre. Man würde also sagen können, der Schwebewinkel dieser den Taubenflügel ersetzenden Fläche liegt zwischen 92^0 und 93^0. Selbstverständlich ist dies nur als ein annähernder Schätzungswerth zu betrachten, welcher, (ähnlich wie die Arbeitsberechnung der Taube) Grenzen bezeichnet.

Da von ihm die Grösse der Schwebearbeit abhängt, die Arbeit, welche dem Flieger die stützende Bahnlinie schafft, so spielt er eine Hauptrolle beim Flugvorgange. Ist es möglich bei künstlichen, gekrümmten Flächen zu erzielen, dass er gleich oder nicht viel grösser als bei den Vögeln wird, so darf mit Sicherheit an eine Lösung der Flugfrage geglaubt werden, andernfalls wird eine Flugmaschine, wenn sie auch funktioniren könnte, ein unbeholfenes, arbeitverschwendendes Geschöpf bleiben, welches in zu grossem Nachtheil gegenüber den auf festem Boden sich bewegenden Fahrzeugen stände.

Es wächst die Tragfähigkeit der Flügelflächen im Quadrat mit der Fluggeschwindigkeit, denn werden die Lufttheilchen m, m_2 etc. in der $\frac{1}{X}$ Zeit nach abwärts befördert, so ist ihre Reaktion X^2 mal grösser wie aus der Formel $s = \frac{a.\,t^2}{2}$ hervorgeht.

Es bleibt s in beiden Fällen gleich, nur legt in einem das m den Weg s in der Zeit t, im andern in der Zeit $\frac{1}{X}$ t zurück.

Also muss in letzterem $a' = X^2 a$ sein oder der Auftrieb ist X^2 mal grösser, wenn die Fluggeschwindigkeit X mal grösser ist.



V. REALATIVE TRAGFÄHIGKEIT DER FLUGFLÄCHEN.

Die Vergrösserung der Flügelfläche hat eine mehr als proportionale Vergrösserung der Tragfähigkeit derselben zur Folge — Einwand gegen diese Schlussfolgerung.



Von den verschiedenen uns noch dunklen Punkten bei dem Flugvorgang fällt zuerst der scheinbare Widerspruch auf, dass grössere Vögel im Verhältniss kleinere Flugflächen haben als Kleine.

Wir sahen, dass erstere schneller fliegen können, als letztere, die Beobachtung zeigt aber auch, dass sie nicht schneller fliegen müssen und doch wäre dies zweifellos bedingt, um den der grösseren Flächenbelastung entsprechenden grösseren Auftrieb zu erhalten wenn die gewöhnliche Annahme, dass bei gleichen Geschwindigkeiten die Tragfähigkeit nur proportional der Flächenvergrösserung sei, richtig wäre.

Ständen keine direkten Fluggeschwindigkeitsvergleiche zu Gebote, so würde die andere angeführte Thatsache, dass der Brustmuskel bei Vergrösserung des Vogels nicht blos nur proportional mit dem Gewichte desselben zunimmt, sondern sogar noch in einem etwas kleinern Masse, beweisen, dass die mittlere Geschwindigkeit des grossen Vogels nur wenig von derjenigen des Kleinen abweichen kann, denn müsste sie grösser sein, so hätte auch der grosse Vogel eine mehr als verhältnissmässig, (der Gewichtsvermehrung entsprechend), grössere Schwebearbeit zu leisten, in Folge des grössern zurückgelegten Weges und desshalb würde naturgemäss der Brustmuskel mehr als proportional mit der Gewichtsvergrösserung gewachsen sein, was eben nicht der Fall ist.

Man kann auch nicht annehmen, dass die Flügel der grossen Vögel beim Fliegen einfach die Luft unter einem stumpfen Winkel treffen, um

den nöthigen Auftrieb zu erhalten. Diesen erhielten sie dann allerdings, dafür würde aber wie Fig. (31) zeigt, die Anzahl der Flügelschläge eine grössere, als sie der vergleichenden Beobachtung (Seite 12) entspricht und also auch die Schwebearbeit wieder eine grössere werden, desshalb ist diese Annahme ebenfalls zu verwerfen.

Wir sind daher zu der Schlussfolgerung gezwungen: „Die Vergrösserung der Flügelfläche hat eine mehr als proportionale Vergrösserung der Tragfähigkeit derselben zur Folge"*) und zwar müsste, da die Flügelfläche im quadratischen, das Gewicht in cubischen Verhältniss gewachsen ist, bei der n fachen linearen Vergrösserung des Vogels, die neue Fläche welche n^2 mal so gross ist wie die erste, gleich n^3 mal so viel tragen als diese, ist sie y mal grösser, so wird sie $(\sqrt{\frac{F}{f}})^3 = (\sqrt{y})^3$ mal mehr tragen. Eine Fläche von der Grösse 9 würde also 27 mal so viel tragen als von der Grösse 1. Es ist nicht einmal nöthig, dass die Tragfähigkeit der grösseren Fläche so stark zunimmt, die Sekundenarbeit wird desswegen doch nicht grösser, als es die Anlage der Brustmuskulatur erlaubt. Wir wissen, dass bei grossen Vögeln die Querschnittsarbeit verhältnissmässig kleiner ist als bei Kleinen, die Schwebearbeit einen grössern Bruchtheil der Gesammtarbeit ausmacht, diese letztere also beim grossen Vogel wenn er die gleiche Fluggeschwindigkeit hat, wie der Kleine, weniger als n^3 mal gewachsen wäre, was der verhältnissmässig schwächern Brustmuskulatur entspräche.

Wir wollen aber die Stärkere der kleinen Flieger auf Kosten der in ihrer wechselvollen Flugweise begründeten, oft aussergewöhnlichen Anstrengungen rechnen und dafür annehmen die Gesammtarbeit des grossen Fliegers sei n^3 mal gewachsen. Da seine Schwebearbeit dabei mehr als n^3 mal grösser sein darf als die des Kleinen, so wird er also in der Sekunde einen etwas grösseren Weg zurücklegen können (welche Vergrösserung auf die Querschnittsarbeit als kleinern Bruchtheil der Gesammtarbeit nur wenig Einfluss hat,) und in Folge dessen braucht die Tragfähigkeit seiner Flügelflächen nicht um $(\sqrt{y})^3$ gewachsen zu sein, sondern es genügt, wenn sie in einem kleinern Masse wächst.

Dass die kleinsten (normalen) Fluggeschwindigkeiten bei grossen Vögeln etwas grösser sind, bestätigen auch die Messungen Prechtls (siehe Fluggeschwindigkeiten).

Es wird die Aufgabe von Versuchen sein, zu bestimmen, wie gross die Tragfähigkeiten von gekrümmten Flächen verschiedener Grösse sind und die bezügliche Verhältnissregel aufzustellen.

---

*) A. v. Parsival ist meines Wissens der Erste, der in seinem Werke „Die Mechanik des Vogelfluges" auf die Nothwendigkeit dieses Verhältnisses hinweist.

Es zeigt sich dann ob der Gedankengang dieser Speculationen ein richtiger war.

Gegen obige Schlussfolgerung wäre ein einziger Einwand möglich, der unter Umständen den Anschein von Berechtigung hätte, indem die auf allerdings etwas mangelhaften Beobachtungen basirenden Angaben, dass die grossen Vögel eine beinahe gleich geringe Normalgeschwindigkeit haben, wie die kleinen, angezweifelt und behauptet würde, dieselbe sei viel grösser und die stärkere Brustmuskulatur der kleinern Vögel rühre nur von ihren schlechtern Flugwerkzeugen und dem bedeutend grösseren Querschnittswiderstand her, so dass sie also bei geringerer Fluggeschwindigkeit verhältnissmässig mehr Arbeit brauchen, als der grosse Vogel bei seiner in Folge seiner kleinern Tragfläche für ihn bedingten grössern Fluggeschwindigkeit.

Dieser Einwand würde sich beispielsweise darauf stützen, dass beim kleinen Vogel die Querschnittsarbeit doppelt so gross sei wie die Schwebearbeit (wir fanden, dass sie bei der Taube etwas kleiner als letztere ist), also die Arbeit des Kleinen $s = \frac{q}{2} = \times$ und $q = 2 \times$;

$a = (s + q) = 3 \times$

Die Arbeit eines 8mal grösseren Vogels wäre nun, da seine Geschwindigkeit bei der Voraussetzung blos proportionalen Wachsens der Tragfähigkeit der Flügelflächen $= \sqrt{2} = 1{,}4$ mal grösser sein müsste.

$A = S + Q$; (gleich Schwebearbeit und Querschnittsarbeit.)

$= 1{,}4 \,.\, 8 \,.\, s + (1{,}4)^2 \,.\, 4 \,.\, q$

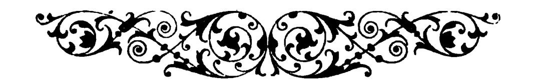
$= 27{,}3 \times = 9\,a$ (statt 8 a)

Die Schwebearbeit musste proportional der Gewichts- und Wegvergrösserung wachsen, die Querschnittsarbeit proportional der Querschnittsvergrösserung und im Quadrate der Geschwindigkeitsvergrösserung. (Ich benütze in diesem Beispiele absichtlich die dem Einwand günstigere Annahme, der Querschnittswiderstand wachse blos proportional mit der Geschwindigkeitsvermehrung, also die Arbeit zu seiner Ueberwindung im quadratischen Verhältniss).

Trotz dieser Voraussetzung, dass die Querschnittsarbeit beim kleinen Vogel das doppelte seiner Schwebearbeit ausmache, wäre die Sekundenarbeit des grossen Vogels immer noch etwas grösser anstatt kleiner, wie es seine Brustmuskulatur bedingen würde. Es muss also noch die zweite Behauptung in's Feld geführt werden, nach welcher die Flugwerkzeuge des kleinen Fliegers schlechter arbeiten, in Folge dessen seine Schwebearbeit grösser als $\times$ wird; dann wäre es denkbar, dass die Sekundenarbeit des kleinen Vogels mehr als $^1/_8$ von derjenigen des Grossen wird, trotz der geringern Geschwindigkeit, welche er besitzt.

Würde z. B. $s = 1^1/_2 \times$ also $a = 3^1/_2 \times$, dann wäre seine Arbeit etwas grösser als $^1/_8$ der Arbeit des grossen Fliegers, und seine verhältnissmässig grössere Brustmuskulatur erklärlich, aber nur unter der Voraussetzung zweier willkürlicher Annahmen, erstens, dass die Querschnittsarbeit des kleineren Vogels beim Normalflug grösser sei als seine Schwebearbeit, und zweitens, dass seine Flügel schlechter gebaut seien als diejenigen des Grossen.

Die erste Annahme steht im Wiederspruch mit der von uns schon gewonnenen Kenntniss (Taube). Gegen die zweite Annahme spricht die genauere Betrachtung kleiner guter Flieger, z. B. gerade wieder der Möve.



VI. DAS „SEGELN“ DER VÖGEL.

Ballon und Flugmaschine — Das Segeln eines Schiffes gegen den Wind — Anwendung dieses Vorgangs zur Erklärung des „Segelns“ der Vögel — Das „Fliegen“ des Vogels im Wind — Das Kreisen der Vögel — Aufsteigende Windströmungen — Segelflügel — Warum die Flieger höherer Regionen unverhältnissmässig grosse Flügel haben.



„Ich kann mir ganz gut vorstellen, dass man es zum Fliegen bringt, sei es nun mit Hilfe eines Ballons oder einer eigentlichen Flugmaschine, aber nur bei Windstille; bei Sturm und Wetter ist jeder derartige Apparat einfach der Willkür der Winde preisgegeben“, hört man oft doziren, und auf dem Gesicht des Sprechenden lagert sich der Ausdruck der Befriedigung, welche die Weissagung einer unumstösslich scheinenden Wahrheit gewährt.

Man muss dem Propheten unbedingt Recht geben, wenn er seinen Spruch auf den Ballon beschränken will. In Bezug auf die Flugmaschine werde ich versuchen, ihn eines Bessern zu belehren und zu überzeugen, dass für eine solche die meisten Winde nicht blos kein Hinderniss, sondern sogar ein grosser Vortheil sind.

Im Uebrigen will ich die Gelegenheit bentüzen, einen Vergleich zwischen dem lenkbaren Ballon als Flugfahrzeug und der Flugmaschine zu ziehen.

Zwei gleich schwere Massen von verschiedenem Rauminhalt bewegen sich mit gleicher Geschwindigkeit durch die Luft.

In ihren Formen sind sie einander geometrisch ähnlich (siehe Fig. 33); Die eine habe das specifische Gewicht 1 (es ist dies ungefähr dasjenige des thierischen Körpers), die andere sei gleich schwer wie die Luft; also ist ihr specifisches Gewicht gleich $\frac{1}{780}$.

Letztere soll mit M, erstere mit m bezeichnet werden.

Braucht es nun nicht unendlich viel weniger Anstrengung, die Masse m durch die Luft zu bewegen als die Masse M?

„Das schon, aber die letztere erhält sich von sich selbst in gleicher Höhe, da sie nicht schwerer ist als das sie umgebende Medium, die erstere hingegen muss eine Arbeit abgeben (Schwebearbeit), um sich die nöthige Unterstützung zu verschaffen, welche sie am Fallen hindert."

Ist aber diese Arbeit nicht ungemein viel kleiner als die Mehrarbeit, die für die Masse M aufgewendet werden muss, um ihren grossen Querschnitts- und Luftreibungswiderstand zu überwinden?

Ihr Querschnitt ist 84 mal grösser als derjenige von m, ebenso ihre Oberfläche. Sei es, dass man sämmtliche Widerstände mehr als sogenannte Form, Querschnitts- oder Luftreibungswiderstände der Oberfläche aufzufassen hat, die Arbeit, um sie bei der Masse M zu überwinden, wird 84 mal grösser sein.*)

Wir nehmen an, dass bei den grössten Vögeln bei vormaler Geschwindigkeit die Schwebearbeit höchstens das 3 fache der Querschnittsarbeit ausmacht (siehe IV aus der Arbeitsberechnung der Taube); bei grössern Geschwindigkeiten beträgt sie ein wenigerfaches von ihr, wie wir gesehen haben.

Bezeichnet man die Arbeit, welche zur Ueberwindung der Widerstände der kleinen Masse nöthig ist, mit q, so darf man die maximale Arbeitsgrösse, welche sie nöthig hat, um horizontal fliegen zu können mit Werkzeugen, die im Princip den Vogelflugorganen nachgebildet sind, etwa so ausdrücken:

(Arbeit der Flugmaschine und des grossen Vogels) $a = 4\ q$,
während nach obigem der Arbeitsaufwand zur Bewegung der Masse M:

(Arbeit des lenkbaren Ballons) $A = 84\ q$

ist, also mindestens 17 mal grösser ist.

Man sieht, dass es ungemein viel arbeitsparender sein muss, eine Masse mit Hülfe von Stütz- und Treibflächen, welche wie beim Vogel an einer Fläche vereinigt sein können, durch die Luft zu führen, als mit Hülfe eines Ballons ihre Schwere aufzuheben und sie dann durch treibende Flächen (Schrauben z. B.) in die verlangte Geschwindigkeit zu versetzen.

Beispiel: Berechnet man in ähnlicher Weise, wie es bei der Taube geschah, die Sekundenarbeit eines Adlers von 3 Klgr. Gewicht für eine Fluggeschwindigkeit von 10 mtr., so ergäbe sich:

$a = 1{,}13$ Klgrmtr.

Wollte man eine Last von 3 Klgr. vermittelst eines Ballons heben

*) Es wird dabei vorausgesetzt, dass die Widerstände proportional der Vergrösserung des Querschnitts resp. der Oberfläche wachsen.

und dann horizontal durch die Luft bewegen, so wäre nach vorigem eine Arbeit von

$$A = 1{,}13 \,.\, 21 = 24 \text{ Klgrmtr.}$$

nothwendig. Der Ballon hätte eine ähnliche Form wie der Rumpf des Adlers, sein Cubik-Inhalt betrüge 2,3 cubmtr. und müsste dabei mit einem so leichten Gas gefüllt sein, dass man sein Gewicht ausser Betracht lassen kann (also Wasserstoffgas, welches $^1/_{14}$ der Luft wiegt). Der Querschnitt dieses kleinen Ballons beträgt 1,26 □mtr.

Anmerkung: „Es ist allerdings in Betracht zu ziehen, dass hier grosse Lasten bei Beibehaltung unserer bisherigen Voraussetzung (dass die Schwebearbeit proportional dem Gewicht wächst), diese Schwebearbeit gegenüber der stets nur im Verhältniss $(\sqrt[3]{g})^2$ wachsenden Querschnittsarbeit immer grösser, also der Vortheil gegenüber dem Ballon immer kleiner würde.

Wir werden aber später sehen (siehe VIII), dass diese Schwebearbeit ebenfalls in einem kleineren, dort näher zu untersuchenden Verhältniss, als der Gewichtsvergrösserung entspricht, zunimmt.

Es sei hier noch beigefügt, dass bei der bekannten Ballonfahrt von Renard und Krebs dieselben mit ihrem lenkbaren, durch eine Schraube getriebenen Fahrzeug in der Sekunde $5^1/_2$ Meter zurücklegten.

Das Gesammtgewicht betrug 2000 Kilogr.; der Nutzeffekt des angewandten Motors 9 Pferdekräfte.

Für eine Flugmaschine von diesem Gewicht würde unter Beibehaltung obiger Voraussetzung für diese Fluggeschwindigkeit eine beinahe ebenso grosse motorische Leistung erforderlich sein (wenn man den Maximalwerth der Schwebewinkel der Taube der Berechnung zu Grunde legt).

Sowie eine Geschwindigkeitsvermehrung eintreten müsste, wäre dann wieder diese Flugmaschine im bedeutenden Vortheil wegen dem blos proportionalem Wachsen der Schwebearbeit, welche beinahe die Gesammtarbeit ausmacht, während die Gesammtarbeit des Ballons zum mindesten im quadratischen Verhältniss der Geschwindigkeitsvermehrung wachsen muss."

Herrscht Wind, so wird er für den Ballon unter allen Umständen ein Hinderniss bilden, wenn derselbe sich dagegen bewegen soll. Hingegen für die Flugmaschine kann er sehr vortheilhaft sein, wie wir sehen werden. Wenn er sich in einer etwas aufsteigenden Richtung bewegt, so ermöglicht er ihr das arbeitlose Fliegen, das „Segeln".

Dieses Fliegen ohne irgendwelche Flügelbewegung, dieses mühelose Dahingleiten in grossen Kreisen oder auch in geradliniger Richtung kann man bei uns an Boussarden und an Möven sehr schön beobachten. In den Alpen ist Einer hie und da so glücklich, einen Steinadler zu sehen, wie er in weiten Schraubenlinien hoch über die eisbedeckten Bergriesen sich tragen lässt und allmälig dem Blick entschwindet. Bei einer Wanderung

im Einfischthal (Kt. Wallis) im Jahre 1886 bot sich mir der glückliche Zufall, einen solch imposanten Anblick in ziemlicher Nähe geniessen zu können. Obwohl seit verschiedenen Jahren in meiner Zwischenzeit mit dem Flugthema beschäftigt, war ich damals noch im Zweifel, worauf diese Bewegungsweise beruhe. Einzig davon war ich überzeugt, dass, nachdem ich nicht die geringste Flügelbewegung hatte bemerken können, unbedingt eine von aussen wirkende Kraft die Ursache sein müsse. Woher diese Kraft komme, leuchtete mir später plötzlich ein bei einer der kleinen Segelfahrten, die ich hie und da auf dem Bodensee unternahm. Es wurde mir klar, dass, so gut wie bei richtiger Segelstellung ein genügend starker Wind das Schiff unter einem spitzen Winkel gegen sich bewegen könne, eben so gut müsse es möglich sein, dass eine aufsteigende Windströmung so auf die ausgespannten Flügel eines Vogels wirken könne, dass letzterer im Stande sei, in horizontaler Richtung, ohne weitere Arbeit zu leisten, gegen den Wind zu segeln. Ferner erschien es mir nun leicht verständlich, warum der Vogelflügel von vorn nach hinten gekrümmt sein müsse. Damit eben, wie beim Segel, auf diese Weise die grösste Druckabgabe auf die ablenkende Fläche statthabe (siehe VIII — die Modification dieser Erklärung).

Für Motoren, welche die lebendige Kraft des Wassers benützen, gekrümmte Schaufeln zu verwenden, ist ein von jeher angewandtes Constructionsprincip.

Das „gegen den Wind segeln" eines Schiffes gibt ein Bild, auf welches gestützt man sicham besten „das Segeln" der Vögel vorstellen kann (Fig. 34).

Das Schiff bewege sich in der Pfeilrichtung mit der Geschwindigkeit v, w bedeutet den Wind in Grösse und Richtung. Der Druck, den er auf das Segel desselben äussert, wird genau derjenige sein, wie wenn bei Stillstand ein Wind von der Grösse und Richtung i (die Resultirende aus v und w) es treffen würde. Seine Stellung muss eine solche sein, dass der Vorderrand der Segelkrümmung tangential zu dem ideellen Wind i steht (wenn das Segel am besten wirken soll). Den Druck D, der auf des Segel wirkt, kann man in zwei Componenten zerlegen, von denen die eine (Q) die Querschnittswiderstände des Schiffes in Wasser und Luft überwindet, die andere (T) äussert sich als Druck des Schiffkiels auf das Wasser.

Denkt man sich dieses Schiff um einen rechten Winkel gedreht und auf der andern Seite in symetrischer Weise mit einem zweiten Segel versehen, so haben wir einen Segelflug-Apparat vor uns, welcher nur noch mit einer die Stabilität besser sichernden Fläche (Schwanzfläche) versehen werden müsste. Das Kräftebild bleibt das gleiche mit dem Unterschied, dass nun der Wind ein in der Neigung i aufsteigender ist und dass die vortreibende Componente Q lange nicht so gross zu sein braucht, denn der Widerstand, welchen das Wasser verursachte, fällt weg

und es ist nur derjenige zu überwinden, welchen der Schiffskörper (oder der Vogelrumpf) bei der Bewegung durch die Luft erleidet.

Die Horizontal-Geschwindigkeit v des Apparates darf so lange wachsen, als der dadurch verursachte Querschnittswiderstand nicht grösser wird, wie die vortreibende Kraft Q der Segelfläche. Ist dieser Widerstand klein, so kann die Grösse von v die Windgeschwindigkeit bedeutend übertreffen.

Es sei irgend ein Wind w gegeben, so wird der Flieger mit Hülfe von diesem die grösste Horizontalgeschwindigkeit gegen ihn zu gewinnen suchen. Setzen wir voraus, seine Flügel sollen immer vollständig ausgespannt bleiben, so wird er dieselbe dann erreicht haben, wenn die ideelle Windrichtung unter dem Winkel (γ—$90^0 + \alpha$.) (γ—90^0) aufsteigt.

Aus Fig. (36) ergibt sich, dass die Neigung der Resultante nach vorn gerade so gross sein muss, dass die horizontalcomponente D cos α dem Querschnittswiderstand des Rumpfes das Gleichgewicht hält (bei der Taube würde $\alpha = 1^0$ 10' betragen, bei grössern Vögeln weniger, beim Adler 30'—40').

Hat der aufsteigende Wind gerade eine Geschwindigkeit, welche gleich der Normalgeschwindigkeit der tragenden Fläche ist, so muss er einen Winkel von der Grösse γ mit der Resultante bilden, wenn der Vogel schwebend an gleicher Stelle bleiben soll.

Man kann diesen Wind i durch verschiedene Horizontalgeschwindigkeiten (v_1, v_2, v_3) des Vogels in Verbindung mit aufsteigenden Winden (v', v'', v''') ersetzt denken.

Je senkrechter der Wind aufsteigt, um so schwächer darf er sein, um so grösser kann die Fluggeschwindigkeit v werden. Je mehr er sich der Windrichtung i nähert, um so stärker muss er sein und um so kleiner wird v (siehe Fig. 37).

Ist ein Wind vorhanden von der Richtung v''' z. B. und er ist stärker als dieser, so kann, wie Fig. (38) zeigt, der Vogel in der Richtung und mit der Geschwindigkeit v_3 in die Höhe steigen. (Es ist stets derselbe Gleichgewichtszustand vorhanden, wie wenn der Wind i ihn treffen würde bei ruhigem Schweben.)

Will er bei diesem Winde trotzdem in horizontaler Richtung segeln, so muss er die Flügelfläche verkleinern, die Flügel etwas einziehen.

Es ist nun leicht einzusehen, in welch' grossem Vortheile eine Flugmaschine wäre, die im Constructionsprincip dem Vogelflügel nachgebildete Flächen besässe, gegenüber einem Ballon, der entweder einfach von einer solchen Windströmung von 10 Meter mitgenommen würde oder aber mit enormen Arbeits- und Treibmitteln ausgerüstet sein müsste, wobei es wieder sehr fraglich wäre, ob die Möglichkeit vorhanden ist, eine solche Hülle zu bauen, welche einem Winddruck von dieser Geschwindigkeit genügend Widerstand leisten könnte, ohne eingedrückt zu werden.

Der Vogel kann nicht blos gegen, sondern auch mit dem aufsteigenden Winde segeln, so wie er sich in eine Geschwindigkeit versetzt hat, dass der ideelle Wind i eine solche Grösse erreicht, welche genügt, um den Vogel zu tragen (siehe Fig. 39).

Man kann sich Beispiele zurechtlegen mit verschiedenen Windrichtungen und Windstärken. Es wird das v so lange wachsen, bis i den Vogel zu tragen vermag und mit Wachsen aufhören, sowie die vortreibende Wirkung von i kleiner würde als der Querschnittswiderstand.

Letzterer ist bedingt durch die Geschwindigkeitsgrösse (v—w cos ß).

Ist die Stärke des Windes zu gering oder seine Richtung zu wenig aufsteigend, so muss der Vogel mit Flügelschlägen nachhelfen.

Der geringste aufsteigende Wind erspart ihm aber immerhin an Flugarbeit.

Dass grosse Vögel noch gegen einen etwas aufsteigenden stärkeren Wind segeln können, während dies Kleinen von gleich guter Bauart nicht mehr möglich, geht daraus hervor, dass der Querschnittswiderstand beim grossen Vogel, wie wir wissen, verhältnissmässig geringer ist als beim Kleinen, und desshalb die Flügelfläche nicht so stark nach vorn geneigt zu sein braucht. Die ideelle Windrichtung wird also mit der tragenden Flügelfläche noch einen genügend grossen Winkel bilden können, um ihr den nöthigen Auftrieb zu verschaffen, während dies bei der Flügelfläche des kleinen nicht mehr der Fall sein kann.

Hat ein Wind keine aufsteigende Richtung, also ein Segeln in unserem Sinne ausgeschlossen ist, so ist selbstverständlich, dass der Vogel, wenn er mit demselben fliegt, eine Geschwindigkeit (gegenüber der Erdoberfläche) besitzt, welche gleich ist der Windgeschwindigkeit plus die Eigengeschwindigkeit, welche er in ruhiger Luft hätte. Fliegt er gegen den Wind, so ist seine Geschwingkeit gleich der Differenz aus Windgeschwindigkeit und Eigengeschwindigkeit. Sind letztere gleich, so fliegt er an gleicher Stelle und wir haben den Zustand, welchen man am besten als Erklärungsform bei den Flugbewegungen verwenden kann (siehe Schwebearbeit).

Will ein Vogel von A nach B gelangen und befindet er sich in einer Windströmung von der Grösse und Richtung w, so sehen wir leicht ein, dass er eine Stellung einnehmen und eine solche Anstrengung machen muss, als ob er in ruhiger Luft mit der Geschwindigkeit i von A nach C fliegen wollte (siehe Fig. 40).

Die Erklärung für das sogenannte Kreisen der Vögel, das in die Höhe steigen derselben in einer grossen Spirale, ist nun leicht zu liefern. Es ist ein Segeln, das eine Mal mit dem Wind, das andere Mal gegen den Wind, verbunden mit allmäligem Steigen.

Da die Segelgeschwindigkeit mit dem Wind eine viel grössere ist, wie wir gesehen haben, als gegen den Wind, so liegen die Spiralkreise

nicht übereinander, sondern sind verschoben nach der Windrichtung hin. Wie der Vorgang in allen Phasen aussieht, zeigt am besten die Figur (41). Der Deutlichkeit halber habe ich die Segelbahn statt blos mit einer Linie, durch ein Band bezeichnet.

In den Zeitabschnitten, in welchen Segeln mit dem Wind stattfindet, tritt zuerst Fallen ein, bis die Geschwindigkeit so gewachsen ist, dass sie ein genügend grosses i erzeugt. Beim Segeln gegen den Wind findet nur Steigen statt, wobei die beim Segeln mit dem Wind erlangte Beschleunigung wieder ausgenützt wird.

Wir wissen, dass an aufsteigenden Winden kein Mangel ist. Ueberall über den Stellen der Erdoberfläche, welche von der Sonne erwärmt werden, finden wir solche.

Wir schätzten (siehe IV Schwebewinkel), dass eine um 3^0 10' nach aufwärts gerichtete Windströmung von 10 Meter Geschwindigkeit genügen würde, um eine Taube (falls sie für's Segeln eingerichtet wäre), allseitig im Gleichgewicht zu halten, und können daraus entnehmen, dass eine senkrecht aufsteigende Strömung von $tg\ 3^0\ 10' . 10' m = 0{,}55$ Meter Geschwindigkeit ihr ein Segeln mit einer Horizontalgeschwindigkeit von 10 Meter gestatten würde.

Messungen Lilienthal's (siehe VII) in dieser Richtung ergaben, dass alle Windströmungen, welche man gewöhnlich als horizontal gerichtete annimmt, eine aufsteigende mittlere Neigung von etwa $3—4^0$ besitzen und zwar zu jeder Tages- und Jahreszeit. Direkt über dem Erdboden ist die Geschwindigkeit kleiner und diese Neigung sehr veränderlich. Es ist aber anzunehmen und theils durch Beobachtungen erwiesen, dass in grösserer Höhe die Stärke der Windströmung zunimmt, sowie die Neigung derselben constanter bleibt, weil keine aufhaltenden und ablenkenden Hindernisse vorhanden sind.

Sind unsere Folgerungen in Bezug auf die Kleinheit des Winkels γ richtig und die Lilienthal'schen Beobachtungen ebenfalls zuverlässig, so muss man annehmen, dass ein mit guten Segelflügeln versehener Vogel stets mühelos segeln kann in einiger Höhe, wenn nur die Windströmung stark genug ist. Beobachtet man segelfähige Vögel, wie Boussarde oder Möven im Winde, so findet man, dass sie in der Nähe des Bodens noch fiiegen (und zwar ein Boussard sehr schwerfällig) und erst in die Höhe gelangt, mit segeln beginnen.

Ich habe vorhin den Ausdruck „Segelflügel“ gebraucht. Die Taube besitzt keine solchen, ihre Schwungfedern bilden ganz ausgesprochen eine Fläche, welche stärker nach vorn geneigt ist, als dies bei der durch die Fächerfedern gebildete bedeutend stärker gekrümmte Fläche der Fall ist. Erstere hat das Vortreiben zu besorgen neben der tragenden Wirkung, letzterer dient nur als tragender Flügeltheil. Der schädliche Widerstand, den die Schwungfederfläche in Folge dieser Neigung erlitte

bei der Hebung, wird dadurch vermieden, dass, wie wir bereits wissen, die Luft bei der Hebung des Flügels zwischen den dachziegelig übereinander gelegten Schwungfedern durchstreichen kann.

Es ist ohne weitere Erklärung leicht ersichtlich, warum bei dieser ungleichmässigen Flächenanordnung an ein erfolgreiches Segeln nicht zu denken ist, dass zu letzterm eine Fläche gehört, in welcher alle gekrümmten Theile mehr parallel zu einander liegen, wo eine treibende Fläche erst durch den Luftdruck auf die nachgiebigere Schwungfederpartie gebildet wird.

Da bei den „Ruderflügeln" in Folge dessen, dass ihre Schwungfedern nicht so steif und nicht so dicht übereinander gelagert sind, die Schwungfederpartie die gewünschte Eigenschaft der Nachgiebigkeit besitzt, werden sie sich eher zum Segeln eignen als die „Schnellflügel".

Bei solchen Vögeln, welche keine Ruderflügel besitzen und doch gute Segler sind, wie die sämmtlichen Sturmvögel, ermöglicht die grosse Länge ihrer Flügel leichter eine Torsion der äusseren Theile. Die ganze Schwungfederpartie wird beim Niederschlag hinten nach aufwärts gedrückt (es braucht eine nur geringe Neigungsänderung stattzufinden, da die Flügelschläge dieser Vögel sich langsam folgen); bei der Hebung oder beim Segeln „federt" sie so zu sagen in ihre ursprüngliche Stellung zurück, um wieder mit dem tragenden Flügelflächentheil eine einheitliche Segelfläche zu bilden.

Bei den Flügeln dieser Sturmvögel ist es in Folge ihres bessern Anpassungsvermögens nicht notwendig, dass die Luft bei der Flügelhebung zwischen den Schwungfedern durchstreichen kann.

Da der günstigste Schwebewinkel nach unserer bisherigen Schätzung gleich (92°—93°) beträgt, so findet natürlich weder beim Segeln noch beim gewöhnlichen Flug ein „tangentiales" Einströmen der Luft auf die Unterfläche der Fügel statt, da der vordere Theil der Krümmung einen viel grösseren Winkel mit der Bogensehne bildet. (Bei einem Krümmungsverhältniss von 1:12 und parabolischer Krümmung wäre dieser Winkel 22°; bei kreisbogenförmiger Krümmung gleich 16°) (siehe Fig. 42).

Fig. 43 zeigt die Flügelstellung, wie sie sein müsste bei tangentialer Einströmung, man sieht ohne weitere Erklärung ein, dass auf diese Weise keine vortreibende, sondern eine aufhaltende Wirkung entstände.

Es wird uns seinerzeit aufgefallen sein beim Durchgehen der Tabelle (siehe I), dass der Adler eine, von der Regel abweichende, kleinere Flächenbelastung, also ausnahmsweis grosse Flügel besitzt.

Der Adler ist hauptsächlich Segler und hält sich in hoher, bedeutend dünnerer Luftschichte auf (der Barometerstand beträgt in einer Höhe von 5000 Meter gegen 400 mm; die Luft ist also dort nur halb so dicht wie am Meerespiegel.

Soll nun der Adler in diesem alumen nicht so viel Widerstand

bietenden Mittel nicht mehr Schwebearbeit leisten müssen, indem er zu einem schnellern Flug gezwungen wird, resp., soll er zum Segeln nicht eines stärkeren Windes bedürfen, als der gleich schwere Segler in der Tiefe, so muss eben seine Flügelfläche grösser sein.

Bewegt sich ein Vogel, der für tiefere Luftschichten eingerichtet ist, ausnahmsweise in einer höheren, dünneren, so wird allerdings seine Querschnittsarbeit kleiner hingegen seine Schwebearbeit, und desshalb auch seine Gesammtarbeit grösser.

Umgekehrt, kommt ein Flieger hoher Regionen in unsere Regionen oder in die Meeresgegend, so wird er sich hart thun, gegen stärkere Windströmungen anzukämpfen in Folge seiner für dieses Mittel zu grossen Flügelflächen. Er wird sich mit Einziehen derselben so gut als möglich helfen müssen.

Alle die Flugmaschinenprojekte (es existiren verschiedene solche), welche riesige Segelflächen anwenden wollen, wären unfähig, grosse Geschwindigkeiten zu erzielen oder gegen Winde zu kämpfen.

Das von der Natur den Fliegern verliehene Verhältniss zwischen Gewicht und Flugflächengrösse ist ein wohl abgewogenes.



VII. VERSUCHE UND IHRE ANWENDUNG.

Zwei verschiedene Schwebearbeitsformen — Das kleinste Verhältniss $\frac{W}{N}$ — Lilienthals Messungen — Messung des Flügelquerschnittwiderstandes q — Die eventuelle Sekundenarbeit eines fliegenden Menschen — Der Vortheil bei der Anwendung von Motoren — Meine Versuche mit frei fliegenden Flächen — Der Segelwinkel und Messung des Gesammtwiderstandes des Flugapparates — Bestimmung des eigentlichen Schwebewiderstandes R h — Lenkung der Flächen und Anwendung ihrer besten Typen für „lenkbare Fallschirme", „Luftsegelschiffe" und „Flugmaschinen".



Unser Blick ist nun ein freierer geworden. Der geheimnissverhüllende Schleier welcher über dem Flugprozess lag, hat sich für uns bedeutend gelüftet. Wir haben bis anhin blos durch Benutzung von bestimmten Massen und approximativen Schätzungen ohne Hülfe von Versuchen erfahren, dass die Arbeit, welche nothwendig ist, um einem fliegenden Körper die nöthige Unterstützung in der Luft zu verschaffen, lange nicht so gross ausfällt, wie es scheinen sollte, ferner dass wenn auch der Flügel unter ganz spitzem Winkel zu seiner Bewegungsrichtung die Luft trifft, er trotzdem genügenden, tragenden Auftrieb liefert, und endlich haben wir Aufschluss darüber erhalten, in welcher Weise dem Segler ohne Arbeitsaufwand seine Flugreisen möglich werden.

An Hand der Ueberlegung und von Versuchen wollen wir weiter vorrücken.

Fig. (44) zeigt einen Flügel, wie er gerade im Begriffe ist, in der zur Verticalen um den Winkel ß geneigten Richtung A B mit der Geschwindigkeit v' sich zu bewegen, um einen Auftrieb zu erzeugen, dessen Grösse durch die uns bekannte (von IV her) Resultirende D gegeben ist. Bis zur Ankunft des Flügels in B wird also die Schwebearbeit D. h geleistet

Man kann sich den Druck D in zwei Componenten zerlegen; in eine solche, welche in der Bewegungsrichtung A B liegt (W) und in eine solche, welche senkrecht zu ihr steht (N).

Den, dem Auftrieb D gleichen und entgegenwirkenden Zug G kann man sich durch die dem (W) das Gleichgewicht haltende Componente b und die senkrecht zur Bewegungsrichtung stehende, (N) aufhebende Componente (n) ersetzt denken.

Während dem ganzen Vorgang legt die Componente n in ihrer Richtung keinen Weg zurück, leistet also keine Arbeit, während die Componente b auf dem Weg v (der Einfachheit halber, erfordere die Zurücklegung des Weges A B gerade eine Sekunde) den Flügel nach abwärts zieht und damit das Gleiche verrichtet wie die Schwebearbeit D h.

Es ist also auch: $D h = b v = W v$.

Diese auf die Bewegungsrichtung bezogene Componente W aus den beiden auf den Flügel wirkenden und in D vereinigt gedachten Kräften R und q (siehe IV) heisse bis auf Weiteres der Schwebewiderstand.

Denkt man sich Fig. 44 so gedreht, dass v horizontal zu liegen kommt, so sieht man, dass das an der Fläche aufgehängte Gewicht nur noch die Grösse von N haben darf (nicht mehr diejenige von D wie vorhin) und dass eine neue Kraft hinzukommen muss, welche gleich und entgegengesetzt dem Schwebewiderstand W ist, wenn Gleichgewichtszustand vorhanden sein soll; wenn die Fläche mit der Geschwindigkeit v in horizontaler Richtung sich bewegen und dabei das Gewicht $G = N$ tragen soll. Die dabei aufgewandte Schwebearbeit ist wie vorhin: $W . v$

Der Unterschied dieser beiden Schwebearbeitsformen, wie sie Fig. 44 und 45 zeigen, besteht darin, dass bei letzterer die Flügelfläche und das angehängte Gewicht (Rumpf) in gleicher Höhe bleiben, während bei der ersten nur das Gewicht gleich hoch bleibt. Dafür darf dieses um einen kleinen Bruchtheil grösser sein (dem Winkel β entsprechend) als bei der zweiten Form, bei welch' letzterer dafür der in horizontaler Richtung zurückgelegte Weg um diesen Bruchtheil grösser ist. Ferner: dass im einen Fall der vom Rumpf ausgehende senkrecht nach abwärts wirkende Zug $G = D$ das ganze Schwebegeschäft besorgt, während im anderen Fall der zwischen Flügel und Rumpf herrschende Zug gar keine Arbeit verrichtet, und desshalb eine neue in horizontaler Richtung ziehende Kraft $b = W$ hinzukommen muss. Wir wissen von früher, dass der Winkel γ nur wenig über 90^0 gross ist und deshalb der $\cos(\gamma - 90^0)$ bei allen späteren Betrachtungen ruhig gleich 1 gesetzt werden darf. Man darf desshalb auch stets $N = D$ annehmen.

Das angehängte Gewicht, der Rumpf, erleidet ebenfalls einen Widerstand, den uns bekannten Querschnittswiderstand Q, welcher bei der einen Schwebearbeitsform durch Vergrösserung der ziehenden Kraft W um Q, bei der anderen durch Neigung um den Winkel α der Resultirenden D

(resp. des Flügels) nach vorn ausgeglichen wird. Die Bewegungsrichtung nach abwärts wird in letzterm Fall steiler, das h wird zu h' (siehe Fig. 46). Die Gesammtarbeiten drücken sich dann folgendermassen aus:

$$A = (W+Q)\,v = \underset{\text{Schwebearb.}}{Wv} + \underset{\text{Querschnittsarb.}}{Qv} \quad \text{und} \quad A = Gh' = \underset{\text{Schwebearb.}}{Gh} + \underset{\text{Querschnittsarb.}}{G\,(h'-h)}$$

Sie sind einander gleich, so lange ß klein, wie dies bei den Vögeln der Fall ist. Die Schwebearbeit wird nach früher (siehe IV) um so kleiner, je kleiner der Winkel γ wird, dessen kleinsten Werth (bei der Normalgeschwindigkeit) wir mit dem Ausdruck „Schwebewinkel“ bezeichneten. Ist dieser erreicht, so ist das Verhältniss $\frac{W}{N}$ am Kleinsten oder umgekehrt, wenn man letzteres durch Messung herausgefunden hat, so weiss man, dass bei der betreffenden Lage des Flügels zur Bewegungsrichtung, die Schwebearbeit ein Minimum wird, für irgend einen bestimmten Auftrieb D.

Lilienthal*) machte schon in den siebziger Jahren in Berlin Versuche mit ebenen und vogelflügelartig gekrümmten Flächen. Er erhielt durch Messung die Werthe von N und W für alle möglichen Flächenneigungen zur Bewegungsrichtung. Durch Vereinigung derselben war dann D in Bezug auf Grösse und Richtung bestimmt und in Folge dessen auch der Schwebewinkel γ. Den kleinsten Werth von $\frac{W}{N}$ erhielt er bei seinen gekrümmten Flächen bei einer Flächenneigung von 3^0 zur Bewegungsrichtung. Es war dabei $W = {}^1/_{20}\,N$, also Winkel $ß = \gamma - 90^0 = 3^0$ (aus tg $^1/_{20}$) und Schwebewinkel $\gamma = 93^0$. Das heisst, will man mit einer solchen Lilienthal'schen Versuchsfläche unter Aufwand der geringsten Arbeit einen bestimmten senkrechten, tragenden Auftrieb D erzielen, so hat man sie in einer um 3^0 nach abwärts geneigten Bahn mit der für diesen Auftrieb erforderlichen Geschwindigkeit zu bewegen.“ Zufällig beträgt dabei die Neigung der Krümmungssehne der Fläche zur Bewegungsrichtung ebenfalls 3^0.

Da die Grösse, welche wir mit Schwebewiderstand bezeichneten, aus dem Querschnittswiderstand q des Flügels und aus der Horizontalcomponente R_h der Drucklinie R (siehe Fig. 49) auf die Bewegungsrichtung besteht, welch letztere den eigentlichen Schwebewiderstand (in dem in III entwickelten Sinne) vorstellt, so ist diese Grösse keine constante, sondern abhängig von der Geschwindigkeit und der Flächengrösse.

Die Grösse des Schwebewinkels $\gamma = 93^0$ gilt blos für diese Flächen und für die bei den Versuchen hauptsächlich vorgekommenen Windgeschwindigkeiten, welche um 10 Meter herum sich bewegten. Der Grund, warum wir die Summe obiger beider Grössen als Schwebewiderstand auffassten, (bis jetzt wenigstens), liegt darin, weil noch keine getrennten Messungen der Grössen q und R_h vorliegen. Aus der Schätzungsmethode bei der

*) Anmerkung: Lilienthal, „Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst.“

Taube (wo nur der Widerstand Q des Rumpfes direkt berechnet werden konnte, weil die Penaud'schen Versuche bezüglich des Reduktionscoeffizienten nur auf diesen sich beziehen können), sowie aus den L.schen Versuchen ist nur ungefähr der Summenwerth W zu entnehmen. Eine Trennung kann erst dann geschehen, wenn man q durch Versuche in der Weise bestimmt, dass man die Höhlung einer solchen gekrümmten Fläche oder eines Flügels ausfüllt, um bei der Messung das R_h verschwinden zu machen (siehe Fig. 50). Dadurch ist auch letzteres (der eigentliche Schwebewiderstand) bestimmt, wenn man sich mit der Summe von $q + R_h = W$, durch die L.sche oder eine andere (nachher beschriebene) Methode bekannt gemacht hat.

Für seine Versuche benützte L. zuerst Rotationsapparate, welche aber unzureichende Resultate ergaben, dann machte er Messungen im Winde mit still stehenden gekrümmten Flächen (die Grösse derselben betrug $^1/_2$ □ Meter, ihr Krümmungsverhältnis $= ^1/_{12}$. Die beiden Figuren (47 und 48) zeigen schematisch die zwei benützten Versuchsapparate. Ihr Gebrauch erklärt sich von selbst. Beim Einen konnte N, beim Andern W abgelesen werden.

Die Tragfähigkeit D betrug dabei 0,55 von dem Druck, welchen die senkrecht zur Bewegungsrichtung oder zum Wind gestellte Fläche erlitt. Also ist die Tragfähigkeit der Fläche von $^1/_2$ □Meter bei 10 Meter Geschwindigkeit $= 0{,}55 . (0{,}13 \ F \ v^2) = 3{,}6$ Klgr., oder pro □Meter = 7,2 Klgr.

Diese Messungen sind trotz der Mängel, die ihnen anhaften, in Folge der noch unvollkommenen Flächenform, welche dabei benützt wurde (siehe VIII), nach meiner Ansicht das Werthvollste, was in neuerer Zeit auf dem Gebiete der Flugtechnik geleistet wurde und es ist verwunderlich, dass seit den 16 oder 17 Jahren, wo die ersten vorgenommen wurden, diese Resultate keine bessere Verwendung fanden. Aus dem Werke Lilienthals ersehen wir, dass sein Hauptaugenmerk darauf gerichtet ist, eine für den Menschen taugliche Flugmaschine zu konstruiren, resp. die Konstruktionsbedingungen anzugeben und zwar nach Art des Vogelmechanismus. Wir werden gleich sehen, wie gross dabei der Arbeitsaufwand sein müsste, um in ruhiger Luft fliegen zu können. Es sei noch bemerkt, dass die Versuchsflächen an beiden Enden spitz ausliefen (siehe Fig. 51) und dass es gar keinen weiteren Einfluss auf die Resultate hatte, ob der Vorderrand verstärkt war (der Vogelflügel ist ja nichts anderes, als eine gekrümmte Fläche mit verstärktem Vorderrand) oder nicht (siehe Fig. 51); blos der hintere Rand musste glatt sein, weil dort jede Verstärkung in hemmender Weise sich fühlbar machte. Die Krümmung der Unterfläche war ähnlich wie beim Vogelflügel, vorn etwas stärker, hinten schwächer.

Die Gesammtarbeitsformel für den Flieger $A = (W - Q) v$ lässt sich auch folgendermassen ausdrücken, da der Schwebewiderstand $W = N$

tg (γ—90°) = G tg (γ—90°) ist: A = v. G tg (γ—90°) + Q v. Legt man das eine Mal den geschätzten Schwebewinkel γ = 92°, das andere Mal den L.schen γ = 93° zu Grunde, so geht aus obigem hervor, dass ein Mensch von 80 Klgr. Eigengewicht, versehen mit einem etwa 20 Klgr. schweren Flugapparat, bei einer Fluggeschwindigkeit von 10 Meter eine Sekundenarbeit aufwenden müsste von:

33 Kilogrammmeter	bis	50 Kilogrammmeter
(der geschätzte Schwebewinkel sei massgebend.)		der Lilienthal'sche Schwebebewinkel sei massgebend.)

Die Arbeit, die noch hinzukommen müsste, um den Querschnitts-widerstand Q zu überwinden, würde 9 Klgmtr. betragen, wenn wir uns den Insassen in einem dem Vogelkörper ähnlichen Rotationskörper von $^1/_2$ □Meter Querschnitt untergebracht denken und bei der Berechnung der Penaud'sche Reduktionscoefficient verwendet wird.

Eine Leistung von 33+9 = 42 Klgmtr. wäre eine enorme für einen Menschen, er könnte dieselbe nur auf kurze Zeit liefern.

Man kann dieselbe vergleichen mit der Anstrengung, welche ein Velocipedist machen müsste, wenn er auf einer sehr schlechten Landstrasse mit Wettrenngeschwindigkeit fahren wollte.

Der Apparat, dessen er sich für's Fliegen bedienen wollte, müsste eine Flugfläche von 14 □Meter haben, bei einer ähnlichen Flächenbelastung, welche ungefähr gleich derjenigen der Taube oder des Steinadlers ist. Erweist sich die Annahme, dass die Tragfähigkeit der Flächen mehr als proportional mit ihrer Vergrösserung zunimmt, als richtig, so würde vielleicht eine Flugfläche von 10 □Meter genügen. Erachtete man die Flächenbelastung des Albatross für zweckmäsig, so würde eine maximale Flächenentfaltung von 7 □Meter ausreichen. Selbstverständlich müssten für den Betrieb einer solchen Einrichtung die Arme und Beine benützt werden.

Wir wollen uns gar nicht damit aufhalten, Constructionsideen für eine solche Flugmaschine zu Tage zu fördern. Es geht aus allen diesen Betrachtungen, sowie aus dem, was seiner Zeit (siehe II) über die Muskelthätigkeit der Vögel bemerkt wurde, hervor, dass die menschliche Kraft nicht ausreichen würde, mittels Flügelschlägen (oder irgend einem anderen eben so gut wirkenden Treibmittel) in unbewegter Luft längere Strecken, deren Zürücklegung Stunden erfordern würde, zu durchfliegen. Selbst wenn man den Schwebewinkel auf 91°, also den Schwebewiderstand W auf G. $^1/_{60}$ reduzieren könnte, so hätte er für das Fliegen in unbewegter Luft eine Arbeit von A = 10. 100. $^1/_{60}$ + 0,9. 10 = 26,6 Klgmtr. zu leisten, was immerhin an heissen Tagen nicht zu den besondern Vergnügen gezählt werden dürfte.

Anders gestaltet sich die Sache, wenn er, ähnlich wie die grösseren Luftbewohner, von aufsteigenden Windströmmungen sich helfen lassen

kann, so dass während einer Flugreise der geringste Zeittheil auf das eigentliche „Fliegen“ käme, und der grösste Theil des Weges mittelst „Segeln“ zurückgelegt würde. In Fällen wo ein solcher Wind zu schwach ist und für reines Segeln nicht ausreicht, unterstützt er wenigstens die Flugarbeit.

Im Uebrigen sehe ich gar nicht ein, warum der Mensch nicht ruhig den Gedanken aufgeben soll, mit der eignen Körperkraft das Fliegen zu erzwingen. In allen Zweigen der Industrie, für Lasten und Personentransport, bei der rationellen Bewirthschaftung der Felder, überall in erster Linie, wo es blos auf Ersatz der physischen Kraft ankommt, lassen wir Maschinen für uns arbeiten.

Mit ein wenig Dampf oder Gas richten diese viel mehr aus. Was das Verhältniss zwischen der Leistung des Motors und seinem Gewicht betrifft, so ist jedenfalls der Mensch hierin am ungünstigsten bestellt. Eine Sekundenarbeit von $^1/_3$ Pferdekraft (25 Klgmtr.) ist für ihn etwas Ausserordentliches. Wir besitzen, wie schon angeführt, (siehe IV) bereits Dampfmaschinen, welche leer 30 Klgr. und für eine Stunde mit Material versehen, 60 Klgr. pro Pferdekraft wiegen; also Motoren, welche mindestens so leicht wie der Mensch das dreifache an Arbeit liefern, während einer Zeit, die bedeutend länger ist, als die Leistung des Menschen bei obigen Ansprüchen wäre. Verwendete man in entsprechender Form Benzin- oder Petroleum-Motoren, (ich bin überzeugt, dass dieselben erforderlichen Falles sich sehr leicht bauen lassen, besonders wenn man Aluminium dazu verwenden würde) so wäre dies ein enormer Vortheil, weil die todte Last (Wasser und Kohle) bedeutend reduzirt würde. Bekanntlich haben obige Motoren pro Stunde und Pferdekraft $^1/_2$ — 1 Liter Flüssigkeit nothwendig zu ihrer Speisung. Die Abkühlung liesse sich durch Anbringung grösserer Oberflächen vermitteln, da der Flugapparat sich stets in rascher Bewegung gegenüber der umliegenden Luft befindet.

Lassen wir also von vorneherein die menschliche Kraft ausser Spiel und sehen wir zuerst, ob nicht die Möglichkeit vorhanden ist, auf anderm Wege, als auf dem Lilienthal'schen Versuchsweg die Tragfähigkeit von Flächen zu bestimmen, und ob wir dabei nicht auf grössere Tragwerthe kommen, ohne dass der Schwebewiderstand grösser wird.

Ich will desshalb zu einigen Versuchen übergehen, welche ich seinerzeit vornahm und welche ursprünglich den Zweck hatten, das Verhalten von Flächen zu zeigen, wenn sie frei in der Luft sich bewegen.

Als leitendes Vorbild benützte ich die Beobachtung, die man an Tauben und Krähen machen kann, wenn dieselben von einem erhöhten Standpunkte auf irgend eine nicht zu weit entfernte Bodenstelle sich niederlassen wollen. Sie spannen nach Beginn des Falles die Flügel aus und verschaffen sich durch entsprechende Neigung derselben, eine in die

Länge gestreckte Flugbahn (siehe Fig. 53). Die Schwanzfläche ist während dessen vollständig ausgebreitet.

Vorerst machte ich diese Versuche mit ebenen Flächen, als ich aber durch die beim Segeln (siehe VI) gewonnene Anschauung sowie durch die angeführten L. schen Messungsergebnisse von der grössen Vortheilhaftigkeit gekrümmter Flächen überzeugt wurde, verwendete ich letztere. Ich suchte mir dann die Ursache dieses Vortheils genau zu erklären, um daraufhin eine ähnlich gekrümmte (die Krümmung ist durch das natürliche Vorbild, den Vogelflügel bedingt) aber anders als die L. sche Versuchsfläche gebaute Fläche zu bilden, welche noch bessere Resultate liefert (siehe VIII). Diese Form dürfte nach meiner Ansicht keiner Vervollkommung mehr fähig sein.

Im Hintergrund lag der Gedanke, einen solchen Apparat, im Grossen ausgeführt, als lenkbaren Fallschirm zu benützen, dessen Fallweg statt ein senkrechter, ein zur Horizontalen schwach geneigter wäre, mit welchem man also, von einer gewissen Höhe herunterfallend, ein grosses Gebiet überfliegen könnte, bevor man auf den Boden käme.

Es liegt auf der Hand, dass, wenn er dieser Anforderung gerecht wird, er ebenso gut bei herrschenden aufsteigenden Windströmungen als Luftsegelschiff benützt werden könnte.

Ohne dass man sich nach einem geeigneten Motor umsehen oder die eigenen Kräfte anspannen müsste, hätte man dann ein Mittel, bei günstigem Wind das Luftmeer in allen Richtungen zu durchkreuzen. Wir werden finden, dass eine der verschiedenen Formen der Versuchsapparate als Typus für ein Luftsegelschiff und in Verbindung mit einem treibenden Mittel als solcher für eine vollständige Flugmaschine aufgestellt werden kann.

An einem hölzernen leichten Stab sind an beiden Enden ebene Flächen aus steifem Papier oder bei grösseren Vorrichtungen aus dünnem Blech (der Vorderrand soll wegen der Festigkeit verstärkt sein) befestigt. Entweder sind beide Flächen gleich gross, oder die vordere gross und die hintere klein, oder vorn zwei und hinten eine Fläche (siehe die Fig. 54). Sie sind, ähnlich wie sich die beiden ausgespannten Vogelflügel von oben gesehen präsentiren, gegen die Enden schmaler werdend, rundlich abgeschnitten.

Ist die hintere Fläche klein, so kann man sie hauptsächlich als die Stabilität sichernde auffassen, im Gegensatz zur Vorderen, die Apparatlast tragenden. Sie nimmt also die Stelle des Schwanzes beim Vogel ein. Der Schwerpunkt S des ganzen Apparates bei allen Typen muss etwas vor dem Druckangriffspunkt der Flächen liegen, in welchem der Gesammtluftdruck auf dieselben bei senkrechtem Fall vereinigt gedacht werden könnte. (Es ist letzteres gleichzeitig der Schwerpunkt der Flächen.)

Auf die einfachste Weise stellt sich ein solches Versuchsobjekt dar, allerdings in kleinem Masstabe, wenn man aus einem Stück steifen, aber doch dünnen und leichten Papier die Form (Fig. 55) ausschneidet und das Vorrücken des Schwerpunktes vor den besagten Angriffspunkt durch Aufkleben von etwas Wachs bewirkt. (Auch bei den übrigen Typen ist dies die bequemste Manipulation für die richtige Einstellung des Schwerpunktes.) Stets wird derselbe tiefer als der obere Druckangriffspunkt liegen.

Folgende Versuche zeigten, dass, wenn eine ebene Fläche unter spitzem Winkel zur Bewegungsrichtung bewegt wird, der Luftdruck am Vordertheil derselben viel stärker ist als hinten, dass also der Druckangriffspunkt α (für senkrechten Fall) bei einer Bewegung unter spitzem Winkel nach vorn rückt und zwar umso mehr, je spitzer letzterer wird. (In VIII findet sich die theoretische Erklärung dafür).

Hält man diesen Flugkörper am hinteren Ende, und zwar so, dass er schon etwas nach vorn geneigt ist und lässt ihn dann frei (ohne Stoss), so fliegt er in einer Kurve nach vorn (siehe Fig. 56). Der Apparat fällt mit beschleunigter Geschwindigkeit von A bis C und wird zugleich etwas nach vorn geschoben wegen seiner schiefen Stellung und nach abwärts gedreht, weil im Anfang, der Druckangriffspunkt hinter dem Schwerpunkt des Apparates liegt; der Angriffspunkt rückt allmälig weiter vor, bei vermehrter Schnelligkeit und in Folge dessen verkleinertem Winkel, bis er vor dem Schwerpunkt liegt. Das Kräftepaar n N, statt, dass es wie vorher die drehende Wirkung der beiden Kräfte w und b aufzuheben sucht, hilft nun denselben, den ganzen Apparat nach aufwärts zu drehen, so dass dieser in einer Kurve den tiefsten Punkt erreicht und wieder aufwärts steigt in Folge der lebenden Kraft (Pendel), wenn der Schwerpunkt nur wenig tiefer als der Angriffspunkt liegt.

Der jeweilige Druck auf die tragende Fläche muss nicht blos der Einwirkung der Schwere, sondern auch der (allerdings geringen) Centrifugalkraft (in Folge der Curvenbahn) des Fliegers das Gleichgewicht halten. Ist die Einstellung von Schwerpunkt und Angriffspunkt gerade eine günstige, so wird von B an der Apparat von selbst das gleiche Spiel wieder beginnen (Fig. 57).

Bewegung in geradliniger Richtung nach abwärts mit gleichförmiger Geschwindigkeit würde dann stattfinden, wenn die beschleunigende Kraft b gleich dem Schwebewiderstand W und die Normalcomponenten von D und G zur Bewegungsrichtung als Kräftepaar (N n) die drehende Wirkung des Kräftepaares (W b) autheben würden (siehe Fig. 58). Es würde dann D vertikal stehen. Den Winkel (β) könnte man auf irgend eine Weise messen und dadurch wäre Winkel $\gamma = (90^0 + \beta)$ für diese Tragflächen gefunden. Einen solchen Zustand länger als nur einen Moment zu erhalten, ist blos möglich, wenn der Schwerpunkt genügend tief unter dem Angriffspunkt zu liegen kommt.

Diese Verlegung des Schwerpunktes nach abwärts verursacht aber unumgänglich einen neuen Luftwiderstand Q (welchen man mit dem Querschnittswiderstand Q des Vogelrumpfes vergleichen kann). Liege der letztere Angriffspunkt nun über oder im oder unter dem Schwerpunkt S; es muss die beschleunigende Kraft b gleich der Summe von Q und W sein und die für diesen Fall notwendige richtige Lage des Schwerpunktes muss durch eine entsprechende Verschiebung desselben in der Längsaxenrichtung des Apparates hergestellt werden. Da b nun grösser als W ist, so steht D nicht mehr senkrecht, sondern ist um irgend einen Winkel α, welcher von Q abhängig ist, nach vorn geneigt. Durch die Messung des Winkels $\gamma + \alpha$ kann man nun die Summe von $(W + Q)$, nicht mehr W, resp. Winkel γ allein bestimmen (nicht zu vergessen, immer nur wenn gleichförmige Geschwindigkeit konstatirt ist).

Macht man denselben Versuch mit gekrümmten Flächen, so ist das Resultat ein weit günstigeres, die Flugbahn wird dann viel flacher und länger, die Tragfähigkeit ist bei gleicher Geschwindigkeit grösser (siehe Fig. 59). Dass zu der vergrösserten Tragfähigkeit auch die Flugbahn länger wurde, ist schon ein Beweis, dass nun der Schwebewiderstand im Verhältniss zu dieser Tragfähigkeit kleiner ausfiel. (Eingehendere Begründung siehe in VIII.)

Verschiedene solcher Fallapparate legten bei einer Fallhöhe von einem Meter 6 Meter in horizontaler Richtung zurück, so dass der Eindruck, den dieser Vorgang macht, anfangs ein ganz verblüffender ist. Sowie die Papierflächen durch Anstossen etc. Unebenheiten bekommen, so verringern sich ihre Eigenschaften.

Die Arbeit, welche eine zukünftige Flugmaschine zu leisten hat, wird zum Mindesten die Grösse $A = (W + Q)\, v = G \sin (\alpha + \beta)\, v$ erreichen. Den Winkel $(\alpha + \beta)$ wollen wir Segelwinkel nennen, weil ein Vogel oder Apparat gerade an Ort und Stelle bleibend, in der Luft schweben kann, wenn eine genügend starke Windströmung von der Richtungsneigung, die diesem Vogel zugehörigen Segelwinkel $(\alpha + \beta)$ gleich ist, ihn trifft.*)

Sind die hintere und die vordere Fläche des Fallapparates (es sei kein Rumpf angehängt) gleich gross und funktionirt er nach Wunsch, so bezeichnet die Lage seines Schwerpunktes, (welche man durch Aufhängen findet) auch die Lage des mittlern Druckangriffspunktes. In Folge der Gleichheit der Flächen müssen die Angriffspunkte beider an übereinstimmenden Stellen, also gleich weit vom Schwerpunkt entfernt liegen.

---

*) Anmerkung: Der Segelwinkel der Taube beträgt nach unserer Schätzung 3^0 10 dabei ist $(\beta = 2^0;\ \alpha = 1^0\ 10)$. In obiger Formel gebracht, würde er einen zu grossen Arbeitswerth liefern, gegenüber dem auf andere Weise berechneten (sieh IV). Also ist anzunehmen, dass der Segelwinkel, (speziel der Schwebewinkel $\gamma = 92^0$) etwas zu gross geschätzt wurde. Für den Adler wurde ein Segelwinkel von $2^0\ 40'$ gefunden, dabei ist $(\beta = 2^0;\ \alpha = 40')$, welcher aus gleicher Ursache grösser als der Wirkliche sein wird.)

Letzterer zeigt sich ziemlich über die Mitte nach vorn gerückt, also liegen die Druckangriffspunkte der Flächen auf denselben mehr vorn, (siehe Fig. 60) ein Beweis, dass auch bei gekrümmten Flächen unter obigen Voraussetzungen, die Verdichtung der Luft, resp. der Druck nach aufwärts unter der Vorderpartie derselben am stärksten ist. Das Vorrücken des gemeinsamen Druckangriffspunktes kann auch theilweise dem Umstande zugeschrieben werden, dass durch die vordere Fläche, welche die verdichtete Luft nach abwärts schafft, eine Strömung in der Umgebung gebildet wirde welche nach abwärts und etwas nach vorn zieht, (siehe VIII.) und dadurch verursacht, dass der Auftrieb der hintern Fläche nicht mehr ganz so gross sein kann, wie derjenige der vordern. Versuche zeigten mir, dass diese Strömung nur unbedeutend und von geringem Einfluss ist, wenn die Flächen einen kleinen Winkel mit der Bewegungsrichtung bilden und weit genug auseinander liegen.

Nun ist noch etwas anderes zu berücksichtigen. Hängt man einen Flugkörper (Rumpf) an diese Tragflächen (siehe Fig. 61) so würde die von der ersten Fläche nach abwärts geschickte Luft niederdrückend auf die Oberseite desselben wirken. Es ist desshalb besser, die vordere Fläche zu halbieren und soweit auseinander zu ziehen, dass der Flugkörper nicht mehr getroffen werden kann. Selbstverständlich müsste er mit den Flächen durch je einen wandartigen Abschluss verbunden sein, damit kein Entweichen der verdichteten Luft nach innen stattfindet.

Dieser so geschaffene Typus (3) hat vollständige Aehnlichkeit mit dem Vogel, wenn die hintere Fläche durch eine mehr in der Axenrichtung liegende längliche ersetzt wird, welche unten in einer sanften Krümmung in den Rumpf übergeht wie es beim Schwanz des Vogels der Fall ist.

Das tragende Element sind hauptsächlich die vordern Flächen, die hintere übernimmt so viel von der Gesammtlast, als nöthig ist, um eine genügende Stabilität zu sichern. Damit das zufällig im Uebergewicht befindliche Drehmoment nicht plötzlich in umkippender Weise auf den Apparat wirken kann, so wird, da die hintere Fläche sofort einen Luftwiderstand im entgegengesetzten Sinn erzeugt, nur eine langsame Drehung verursacht.

Bei Vergleichen über die Tragfähigkeit zweier Apparate, von denen der eine ebene, der andere gekrümmte Flächen besass, (die Flächengrösse betrug bei beiden 0,03 □Meter) fand ich, dass die Tragfähigkeit des erstern 8 Gramm, die des letztern 16 Gramm und die geschätzte Geschwindigkeit im Maximum $2^1/_2$ Meter betrug. Da die Tragfähigkeit im Quadrate mit der Geschwindigkeit zunimmt, so dürften die gekrümmten Flächen bei der Grösse von 1 □Meter (zusammen) und der Geschwindigkeit von 10 Meter, eine Flächenbelastung von 8,2 Klgr. haben (und unter der Voraussetzung, dass die Tragfähigkeit mehr als proportional

mit der Vergrösserung zunimmt natürlich noch mehr). Man vergleiche damit die Flächenbelastungen der verschiedenen Vögel (siehe Tabelle).

Ferner ergab sich, dass beim Apparat mit ebenen Flächen der Schwerpunkt weiter nach vorn gerückt werden muss, als bei demjenigen mit krummen; ein Beweis, dass der Druckangriffspunkt einer ebenen Fläche, wenn sie unter einem spitzen Winkel gegen die Luft geführt wird, weiter vorn liegt als bei einer gekrümmten Fläche unter gleichen Umständen. Aus Obigem ersieht man ferner, dass auch die Tragfähigkeit der ebenen Flächen, bedeutend grösser ist, als wie sie sich nach den frühern gewöhnlich gebräuchlichen Formeln ergibt, (z. B. nach der Prechtl'schen $T = 0{,}13\ F\ V^2\ (\sin\alpha + 3^1/_2{}^0)^2$ oder gar nach derjenigen in Ingenieurs Taschenbuch $T = 0{,}13\ F\ V^2\ \sin\alpha^3$ etc.).

Ich bin durch eine Reihe von Versuchen zur Ueberzeugung gekommen, dass diese frei schwebenden Flächen, in Bezug auf Tragfähigkeit die L.schen Versuchsergebnisse übertreffen. Abgesehen von der bessern Flächenform, machen sich hier keine störenden Einflüsse geltend, wie sie unvermeidlich werden, bei einer Verbindung der Versuchsfläche mit einem feststehenden Messapparat. Ebenso liegt in der Ungleichmässigkeit des Windes bei letztern Messungen eine grosse Fehlerquelle.

Trotzdem ich in etwas weitläufiger Weise in dieses Thema eingetreten bin, habe ich doch blos die Hauptpunkte desselben berührt und einige annähernd richtige Schätzungswerthe gegeben. Ich möchte diejenigen geehrten Leser auffordern, die Zeit, Geld und Interesse an der Sache haben, mit kleinen und grossen, in der angedeuteten Weise gebauten Apparaten, in grössern Räumlichkeiten, wo keine störende Windströmung herrscht, Versuche anzustellen, die Tragfähigkeit, (durch Abwägen) sowie die Geschwindigkeit und Wegausdehnung derselben zu messen und den Bahnneigungswinkel $(\alpha + \beta)$ (wenn constante Geschwindigkeit erzielt worden ist), sowie den Neigungswinkel, welchen dabei die Sehne der Flächenkrümmung mit der Bewegungsrichtung bildet*) genau zu bestimmen.

Sichere niederste Werthe für die Letztern zu finden, sowie durch diese Versuche zu constatiren, ob die Tragfähigkeit solcher fliegenden Flächen mehr als proportional mit ihrer Vergrösserung zunimmt, und wie viel, wäre von enormer Wichtigkeit für ein Fortschreiten in der Flugtechnik.

Diese Messungsmethode hätte den grossen Vortheil, dass man unabhängig vom Winde in geschlossenen Räumlichkeiten experimentiren könnte.

---

*) Anmerkung: Durch diesen und die Normale zur Bewegungsrichtung sind die Grenzen innert, welchen sich R bewegen kann, gegeben (siehe VIII). Der eigentliche Schwebewiderstand R_h kann aus dem Gesammtwiderstand $(R_h + q + Q)$ gefunden werden, wenn man $(q + Q)$ am Rotationsapparat misst.

Es könnte allerdings (in der bei der Erklärung der Versuche mit den Fallapparaten) schon angegebenen Weise nur der Winkel ($\alpha + \beta$) nicht der Winkel γ resp. β allein gemessen werden, was auch vollständig überflüssig ist. Statt dass, wie bei den Lilienthal'schen Versuchen, die Neigung γ der Resultirenden D (aus R und q) zur Bewegungsrichtung durch Messung der Horizontal- und Vertical-Komponente W und N bestimmt wird, bestimmen wir hier direkt die Neigung der Resultirenden D' (aus R, q und Q) zur Bewegungsrichtung und daraus den Gesammtwiderstand $W + Q = R_h + q + Q = G \sin(\alpha + \beta)$ in derselben (siehe VIII).

Da bei der praktischen Anwendung im Grossen, solche tragenden Flächen, stets einen den Fahrer etc. enthaltenden Rumpf (als Rotationskörper) angehängt haben werden, so genügt es, wenn letzterer bekannt wird, durch die Kenntniss der Flugbahnneigung des mit constanter Geschwindigkeit sich bewegenden Apparates. Eine Trennung in Schwebe- und Querschittsarbeit nach früherer Auffassung kommt nun nicht mehr vor..

Nachdem wir nun gesehen haben, wie ein solcher Apparat sich selbst eine langgestreckte Flugbahn schafft, so wie er durch freies Fallen und mittelst eines äussern Antriebes die nöthige Geschwindigkeit erreicht hat, so ist es sehr naheliegend ihn als Vorbild für einen lenkbaren Fallschirm zu benützen. Der Insasse hätte die Druckangriffspunktslage zu dirigiren, durch Flächenverschiebung nach vorn oder rückwärts und dadurch Kräftepaare zu erzeugen, je nach Wunsch in abwärts oder aufwärts drehenden Sinne, oder dieselben, wenn er geradlinig fliegen will, im Entstehen zu ersticken.

Fig. (62) zeigt das Kräftebild wie es für den Gleichgewichtszustand sich zeigt; wenn sich der Apparat mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegt. Wie man bei den Versuchsapparaten verschiedene Typen benützen kann, so ist dies auch bei diesen Fallschirmapparaten möglich, Der beste Typus wird immer derjenige sein, welcher sich in seinem Bau am meisten an denjenigen des Vogels sich anlehnt, (siehe die bei den Versuchsapparaten angeführte Begründung).

Man muss bedenken, dass die Form dieses Organismus sich im Laufe der Zeiten allen Bedingungen angepasst hat, welche seine Bewegungen in der Luft zu einer möglichst wenig Widerstandsarbeit raubenden Thätigkeit gestalten.

Auf welche Weise die seitliche Lenkung eines solchen künstichen Fliegers bewirkt wird, konnte man an den Versuchsapparaten sehr leicht herausfinden. Sowie die hintere Fläche etwas um diejenige Axe, welche parallel zur Längsrichtung des Ganzen liegt, verdreht wurde, so ergab sich eine Ablenkung der Flugbahn nach derjenigen Richtung wie es Fig. (63) zeigt. Die Drucklinie der hintern Fläche steht nun schief

und kann man sich dieselbe in eine horizontale und eine vertikale Componente zerlegt denken, wobei erstere eben diese Ablenkung bewirkt.

Selbstverständlich stellt sich nun der ganze Apparat schief nach innen, weil der dem Drehmittelpunkt zugekehrte Theil der Flugfläche sich weniger rasch bewegt als der äussere, also auf diesen ein Ueberdruck stattfindet. Der Schwerpunkt des Apparates kommt dadurch auch aus seiner ursprünglichen Lage zu den Drucklinien; es herrscht wieder Gleichgewicht in der Situation wie sie Fig. (64) angiebt.

Die Componenten C_1 und C_2 wirken der nun auftretenden Centrifugalkraft entgegen. (Man erinnere sich an das, was über den Schwanz des Vogels in II gesagt wurde.)

Ein vertikales Steuer, (nach Art eines Schiffssteuers) wäre eine todte Last, welche nicht zum Tragen mithelfen und eine unnütze Luftwiderstandsvermehrung hervorrufen würde.

Es ist auch noch eine Lenkung denkbar in der Weise, dass man die Tragflächen seitwärts verschiebt, was dem Einziehen des einen Flügels beim Vogel gleichkommt, der dadurch eine Hebung des andern Flügels, eine Neigung des ganzen Vogels nach innen und desshalb auch wieder eine Ablenkung der Bahnrichtung bewirkt, so lange der innere Flügel eingezogen bleibt. (Siehe Fig. (65).

Praktisch wird die erste Lenkungsart besser ausführbar sein.

Nimmt man an, ein solcher lenkbarer Fallschirm funktionire ebenso gut, besitze einen ähnlichen Segelwinkel wie ein Vogel, so würde eine Neigung der Fallrichtung von 3^0 bis höchstens 4^0 genügen, um einen Gleichgewichtszustand aufzuweisen. Das heisst, der Apparat würde sich mit einer Geschwindigkeit von etwa 10 Meter in dieser Richtung nach abwärts bewegen.

Man würde sich von einem erhöhten Standpunkt aus (Galgenähnliches Gerüst, Ballon captif oder freier Ballon, mit einer Felswand endigende Böschung, auf welcher der Apparat auf Rädern hinunterrollen würde und dadurch unter Umständen von Anfang an schon die nothwendige Normalgeschwindigkeit erhielte) fallen lassen. Bei den ersten Versuchen jedenfalls am besten über Wasser, damit ein Fehlschlagen nicht gleich mit zerbrochenen Gliedern bezahlt werden müsste.

Der Mensch würde in dem den Rumpf vorstellenden doppelt zugespitzten Rotationskörper (welcher aus dünnem Blech oder aus einem mit Taffet glatt überzogenen Gerüst bestehen kann, sich der Länge nach ausgestreckt befinden. (Ich will mich nicht in constructive Details einlassen, denn diese gestalten sich hier sowie bei der nachher zu behandelnden Flugmaschinenform so einfach, dass jeder einigermassen technisch gebildete Leser dieselben leicht selber erfinden kann.) Der Insasse würde die vertikalen Direktionsänderungen entweder dadurch bewerkstelligen, dass er sich im Rumpf vor- oder zurückschiebt, (Schwerpunktsänderungen)

oder dass das Flügelgestell in horizontal verschiebbarer Weise mit dem Rumpf verbunden ist und er an Handhaben mit den Armen die Flügelflächen hin und herschiebt, (Druckangriffspunkts-Aenderung) (ähnlich wie es der Vogel macht, was Jeder schon beobachtet haben wird).

Am Kopfende wäre eine gegen den Winddruck geschützte Oeffnung, um dem Lenker das Hinausschauen nach vorn zu gestatten. Ebenso müssten seitliche und eine untere mit starken Glasscheiben versehene Oeffnungen vorhanden sein. Die Schutzvorrichtung der oberen Oeffnung müsste so gebaut sein, dass sie möglichst wenig Luftwiderstand verursacht. Ueberhaupt soll am ganzen Apparat das Auftreten von Unebenheiten, gebrochenen Uebergängen, äusserlich sichtbaren Verstärkungsstreben etc. vermieden werden.

Wir wissen, dass der vordere Rand der Flügelflächen stark gemacht werden darf, ohne Benachtheiligung der Wirksamkeit derselben.

Es lässt sich desshalb mehr als genügende Sicherheit gegen Bruch erzielen. (Ich berechnete für verschiedenes Constructionsmaterial, die jeweilige Stärke für Belastungen bis zu 500 Klgr., und fand, dass die nothwendigen Constructionstheile vollständig Platz finden in dem betreffenden Volumen des Vorderrandes, wie dies bei den Vögeln ja auch der Fall, obwohl die Knochensubstanz gewiss kein so günstiges Constructionsmaterial ist, wie z. B. stählerne Mannesmansche Röhren etc.)

Für sehr grosse Lasten würde man statt einem Fallschirm eine Cupplung von mehreren anwenden, damit die Luft auf verschiedene Punkte der gesammten tragenden Fläche vertheilt und eine übermässige Beanspruchung der relativen Festigkeit vermieden wäre.

Würde ein solcher Apparat sammt dem Insassen 100 Klgr. wiegen, so müssten für eine Flächenbelastung von 7 Klgr. die vordern tragenden Flächen eine Grösse von 14 □mtr. haben, wenn wir von der Tragfähigkeit der hintern Stabilitäts- oder Steuerfläche absehen, dies würde eine Spannweite von etwa 7 Metern bedingen. (Siehe über das Fliegen des Menschen).

Wäre die Höhe der Abfahrtsstelle 85 Meter über dem Boden und nimmt man an, nach 15 Meter Fallhöhe beginne die constante Normalgeschwindigkeit in einer um 4^0 nach abwärts gehenden Richtung, so würde dieser Fallschirm eine Strecke von 1 Kilometer zurücklegen, bevor er den Boden erreicht, (also etwa das 12fache der Höhe.) Durch entsprechende Lenkung kann er es so einrichten, dass er wieder unter der Abfahrtsstelle anlangt. (Siehe Fig. 66).

Beträgt die Höhe der Abfahrtsstelle 400 Meter, so würde der vom Fallschirm durchlaufene Weg 5 Kilometer und die dabei aufgewendete Zeit 8,3 Minuten betragen.

Zur Rekognoscirung von feindlichen Stellungen in stark coupirtem Terrain, wo man auch vom Beobachtungsstandpunkt auf einem Ballon

captif nicht um die Ecken resp. hinter die Hügel und in die Terraineinschnitte sehen kann, müsste sich ein solcher Apparat ganz gut eignen. (Siehe Fig. 67).

Feindliche Kugeln würden höchstens auf den Insassen, nicht aber auf des Apparates Fähigkeiten störend einwirken.

Auch Nachts könnte man sich mit Hülfe elektrischen Lichtes in kürzester Zeit über gewisse feindliche Positionen Auskunft verschaffen.

Ich bin überzeugt, dass der Sachverständige in militärischen Dingen eine Reihe von Anwendungen für ein solches Vehikel finden würde.

Die Ankunft auf dem Boden würde sich folgendermassen gestalten: In der Nähe desselben angelangt, würde der Lenker durch eine kleine Verschiebung des Schwerpunktes nach rückwärts eine Aufwärtsdrehung des Apparates, also in kürzerer Zeit einen Stillstand desselben bewirken (siehe Fig. 68) und dann einfach senkrecht fallend die übrigbleibende geringe Höhe zurücklegen. Der Stoss bei der Ankunft auf dem Boden könnte durch federnde Vorrichtungen gemildert werden, deren Theile zugleich dem Rumpfe als Unterstützungspunkte dienen würden. Während der Fahrt wären diese Stützen (an welchen an den Enden kleine Räder oder Rollen befestigt sind) eingezogen, damit sie keinen Luftwiderstand verursachen.

Beim ungünstigsten Vorkommniss, wenn der Apparat in Folge irgend eines Umstandes schon aus grosser Höhe senkrecht herunterfallen würde, wäre die Ankunftsgeschwindigkeit am Boden gleich derjenigen, welche Einer erreicht, wenn er von einer Höhe von $2^1/_2$—3 Meter hinabspringt.

Auch in dieser kritischen Lage könnte man nicht von einer Lebensgefahr reden, sondern riskirte höchstens einen Arm- oder einen Beinbruch, abgesehen von etwaigen Contusionen; alles Dinge, die bei jeder Ballonfahrt in Aussicht gestellt sind.

„Phantastik“ glaubte ich murmeln zu hören, während dieser letzten Ausführungen. Ich bitte um Geduld, es ist erst der Anfang gemacht.

Wie verhält es sich mit einem solchen lenkbaren Fallschirm, wenn Windströmungen herrschen? Horizontal gerichtete greifen hemmend oder befördernd, je nach der Flugrichtung, in seine Thätigkeit ein. Aufsteigende, welche am häufigsten vorkommen, müssen ihm stets zu Gute kommen. Er wird mit Hilfe von denselben „segeln“ können, wenn die Strömungen stark genug sind. Er wird in diesem Falle die Luft durchziehen, genau wie der grosse Raub- oder der Sturmvogel, mühelos, ohne jeden Arbeitsaufwand. Der einzige Nachtheil letzteren gegenüber besteht darin, dass er seine Tragflächengrösse beibehalten muss, während der Vogel dieselbe nöthigenfalls durch Einziehen der Flügel verkleinern, und stärkere aufsteigende Windströmungen, noch ausnützen kann, ohne dabei auch zum Steigen gezwungen zu sein.

Die Direktion wird auch hier durch kleine Drehungen der hintern Fläche bewirkt.

Dieser lenkbare Fallschirm ist nun ein Luftsegelschiff, warum soll er nicht als Flugmaschine dienen können, wenn er nach Art und Weise der frühern Aeroplane vermittelst einer Schraube oder eines wie der äussere Theil des Vogelflügels wirkenden Fläche horizontal durch die Luft gezogen, der sogenannte Schwebewiderstand, durch eine solche mittels eines Motors erzeugte, ihr gleiche und entgegen wirkende Kraft aufgehoben wird? Man erinnere sich der 2ten Schwebearbeitsform Fig (45).

Bevor wir zur Construction einer eigentlichen Flugmaschine übergehen, will ich zu schildern versuchen, wie sich die Luft um eine Fläche herum verhält, wenn letztere durch dieselbe bewegt wird. Eine annähernd zutreffende Erkenntniss in dieser Beziehung giebt Winke zur Feststellung richtiger Constructionsbedingungen und für eine richtige Auffassung der verschiedenen Arbeitswerthe. Wie schon gesagt, sind diese Schilderungen nur Hypothesen, die sich auf einige Elementarversuche stützen.



VIII. AERODYNAMISCHE VORGÄNGE.

Hypothesen über die Luftverdichtung unter einer ebenen Fläche und deren Ausnützung in vorschiebendem Sinne. — Vergleichende Versuche. — Die beste Form der tragenden Fläche. — Einfachere Begründung des Vortheils vorn herabgebogener tragender Flächen. — Neues Arbeitsbild. — Der Schwebecoeffizient $\frac{Rh}{R}$. — Flache und stärker gekrümmte Flächen. — Ueber die Zunahme der Tragfähigkeit der Flächen. — Ueber den Querschnittswiderstand. — Warum die Flächenform gegen die Enden allmälig schmaler werden muss. — Die Verstärkung des Vorderrandes der Fläche. — Nachträgliches über die Schlagwirkung.



Die Fläche F sei eben und bewege sich von a nach c unter einem spitzen Winkel ß zur Bewegungsrichtung (siehe Fig. 69).

Die jeweilen vor dem Vorderrand der Fläche liegenden Luftpartien werden von ihr getroffen und den mit ihr in Berührung kommenden Molekülen plötzlich eine Geschwindigkeit nach abwärts ertheilt, es findet also ein Zusammendrängen (Ineinanderdrängen, in Folge der Trägheit der nicht von der Fläche getroffenen) von Molekülen, d. h. eine plötzliche Verdichtung der Luftpartie unter dem vordersten Flächentheil (1) statt.

Gleichzeitig mit dem weitern Vorrücken der Fläche dehnt sich diese Verdichtung (welche zugleich im Gesammten die Geschwindigkeit v' nach abwärts hat) wieder aus nach sämmtlichen freien Seiten, es trifft die Flächenpartie (2) schon auf eine geringere Verdichtung als wie sie unter (1) herrschte u. s. w.

Bei dieser Bewegung der ebenen Fläche muss also der Druck am Vorderrand weitaus am überwiegendsten sein. Versuche (siehe VII) zeigten deutlich, dass die mittlereDrucklinie R in der vordern Flächengegend sich befindet.

Wäre die Fläche statt eben, in der Weise gebrochen wie es Fig. (70) zeigt, so wird die Verdichtung unter dem Flächentheil (1) nicht so stark sein, sie dehnt sich wieder etwas aus bis sie von der zweiten Flächenpartie getroffen nnd von Neuem zusammengedrückt wird, (nicht in dem starken Masse wie von der ersten (1) wenn Winkel $ß_1$ grösser ist als ß, was bei der ebenen Fläche durch die Partie 2 eben nicht geschah; u. s. w.

Die Druckgrössen der Reaction auf den Flächentheilen (1) (2) (3) etc. werden sich also viel eher gleichen als bei der ebenen Fläche und der Gesammtdruck wird bedeutend grösser sein, weil die ganze Fläche und nicht blos ein kleiner vorderer Theil an der Verdichtung der Luft mit arbeitet.

In Wirklichkeit kommt diese gebrochene Fläche nicht vor, (sie diente nur als Erklärungsform) sondern eine stetig gekrümmte, für welche das Gesagte in noch erhöhtem Grade gilt.

Ist die Bewegungsrichtung tangential zum Vorderrand der Fläche (siehe Fig. 71) und letztere kreisbogenförmig gekrümmt, so wäre der Druck gleichmässig auf die Fläche vertheilt; ist sie nach der Parabelform gekrümmt, so ist der Druck gegen vorne grösser, die Verdichtung unter dem Vordertheil stärker, was nach obigem leicht erklärlich ist.

Die jeweiligen Diagramme geben für jeden Fall ein Bild von der Druckvertheilung. Es wurde gesagt: Die am Vorderrand der Fläche entstehende Verdichtung verbreitet sich nach allen Seiten", also thut sie das auch nach vorn und nach vorn und oben. Warum soll diese Druckäusserung nutzlos verloren gehen, während dem sie doch in einer Richtung sich verbreitet, in welcher sie noch tragend und vortreibend auf ein weiteres Flächenstück wirken könnte?

Denkt man sich bei (Fig. 69) ein Flächenstück angesetzt, welches in der Bewegungsrichtung B liegt, so wird nun die Verdichtung am Vorderrand der schon gegebenen Fläche (ab) in normaler Richtung auf das Flächenstück bc, also noch tragend und vorwärtsschiebend auf die gesammte Fläche bc wirken. Der Querschnittswiderstand (des Vorderrandes) ist desswegen nicht grösser geworden, da ac in der Bewegungsrichtung liegt.

Die Druckresultante der Gesammtfläche ist jetzt mehr nach vorn geneigt und grösser. Wenn man die Fläche bc mit irgend einem Mittel in der Richtung B durch die Luft bewegen müsste, so würde bei gleicher Geschwindigkeit die Schwebearbeit viel geringer und die Tragkraft grösser sein als vorher. Die Neigung dieser neuen gebrochenen Fläche zur Bewegungsrichtung ist selbstverständlich bedeutend kleiner als diejenige der Fläche ab.

Wird der Neigungswinkel ß der Bewegungsrichtung noch kleiner, (siehe Fig. 73) so wird durch das Flächenstück (ac) allerdings eine Hemmung verursacht, welche niederdrückend und zurücktreibend sich äussert.

Diese Hemmung wird aber reichlich überwogen durch den Ueberdruck, welcher auf der untern Seite dieses Flächenstücks herrscht, (was aus der Betrachtung der Figuren (x), (y) ersichtlich). Die oberhalb a c liegende Luft wird in die Höhe gedrückt und etwas verdichtet, in der Weise, die wir bereits kennen. Beim Vorrücken des Punktes c strömt Luft nach, (siehe Pfeil p) weil sonst hinter c a ein luftleerer Raum entstände, diese Luft wird vom Flächenstück a d nebst der schon unter ihm liegenden verdichtet, wobei die Energie des Hinaufströmens eine Vermehrung dieser Verdichtung hervorruft. Dieselbe wirkt nun auch schiebend und tragend auf das Flächenstück a c (wie oben) u. s. w.

Eine Vervollkommnung dieser Combination von zwei ebenen Flächen (Fig. 74) wird wieder dadurch erreicht, dass man statt an die ebene Fläche (Fig. 69) an die leicht gekrümmte Fläche (Fig. 71) vorn ein Druck empfangendes ebenfalls gekrümmtes in letztere allmählig übergehendes Flächenstück a c ansetzt. Die Verdichtung beginnt dann schon in dem Tangentialpunkt a'.

In solcher Weise haben wir uns den Vortheil dieser gebrochenen (Fig. 72) oder gekrümmten Flächen (Fig. 74) und ihrer Führung durch die Luft vorzustellen, gegenüber Ebenen oder Gekrümmten, welche tangential oder in einem noch grösseren Winkel zur Bewegungsrichtung liegen: „Dass sie keine Verdichtung am Vorderrand haben, die nutzlos nach vorn in die Luft entweicht, sondern dass die grösste Verdichtung weiter hinten liegt und statt einer Druckabgabe in die Luft, eine solche auf diesen Vordertheil sich in tragender und vorwärtsschiebender Weise äussert.“

Die Drucklinie R einer derartig combinirten krummen Fläche wird desshalb vielmehr nach vorn geneigt sein, als bei derjenigen Fläche, welcher vorn das druckempfangende Stück a b fehlt. (Siehe Fig. 75) Sie muss, da wir wissen, dass die Resultirende D aus ihr und dem Querschnittswiderstand q im Maximum blos einen Winkel von 93^0 zur Bewegungsrichtung bildet, zum mindesten einen noch kleineren mit derselben bilden, also beinahe senkrecht zur Bewegungsrichtung der Fläche stehen. Stände sie vollständig senkrecht zur Bewegungsrichtung, so wäre damit angezeigt, dass die Comprimirung, welche in a' beginnt, wieder vollständig in auf die Fläche vorschiebendem Sinne abgegeben worden sei. Dies ist undenkbar, da auch eine Druckmittheilung und desshalb in Bewegungsetzung von Luft nach unten stattfindet, wie folgende Versuche zeigen (siehe auch III).

In je geringerem Masse dies geschieht oder je mehr diese Verdichtung in vorwärtsschiebender Weise ausgenützt wird, um so senkrechter wird R stehen.

(R h . v) giebt die Grösse der Arbeit an, welche an die Luft abgegeben wird und welche als die eigentlich „verlorne“ Schwebearbeit betrachtet

werden muss (siehe Seite 22). Den anderen Theil der gesammten Schwebearbeit, das (q.v) darf man nicht mit dem Ausdruck „verloren“ bezeichnen, da er durch den nicht zu umgehenden Luftwiderstand des Querschnittes der Flugwerkzeuge hervorgerufen wird. (In ähnlicher Weise verursacht auch das Rad eines Wagens, welches eine analoge Funktion hat, einen nicht zu vermeidenden Luftwiderstand. Rh müsste mit dem Reibungswiderstand des die Last tragenden Rades verglichen werden).

Einige ganz einfache, zu vergleichende Versuche sollen zeigen, dass diese längeren vorgehenden Entwicklungen keine blos speculativen Vorstellungen sind, sondern auf Beobachtungen fussen.

Der Unterschied dieser Auseinandersetzungen gegenüber verschiedenen anderen darüber herrschenden Ansichten besteht in der Anschauung, dass die tragende Reaktion auf die Fläche hauptsächlich auf einer, in Folge der Trägheit der unberührten Luft, möglichen Verdichtung beruhe und nicht darin, dass eine möglichst grosse Luftmasse in Bewegung gesetzt wird, was, wie wir nun wissen, blos eine grosse verlorene Schwebearbeit bedingen würde.*)

(Siehe Fig. 76) Bläst man kurz in dieser Richtung in eine Kerzenflamme, so wird sie durch die von a nach b geschickte Luftverdichtung abgelenkt oder ausgelöscht. Es vergeht eine gewisse Zeit zwischen dem Moment des Blasens und der Ablenkung. Je weiter die Kerzenflamme vom Mund entfernt ist, um so schwächer ist die Ablenkung, weil die Geschwindigkeit dieser Verdichtung durch die umliegende Luft immer mehr gehemmt wird und sie sich selbst immer mehr ausdehnt. (Siehe Fig. 77) Bläst man neben der Flamme vorbei, so neigt sie sich gegen die Blasrichtung, ein Beweis, dass durch die vorwärtsschreitende verdichtete Luftpartie die umliegende Luft mitgerissen wird.

Genau die gleichen Wirkungen zeigen sich, wenn man eine gekrümmte Fläche in der Weise, wie Fig. (78) angiebt, über ein Licht führt, oder wie Fig. (79) zeigt, in der Höhe neben einer Flamme vorbeiführt. Die Ablenkungen zeigen sich auch erst einige Zeit nach dem die Fläche schon bei der Flamme vorbei gegangen ist.

„Gleiche Wirkungen, gleiche Ursachen“, hier darf dieser, zwar nicht immer richtige Spruch, angewendet werden, weil keine andere Vorstellung über das Verhalten der Luft denkbar ist als eine solche, welche vollständig mit derjenigen übereinstimmt, die wir uns über die Luftbewegung beim Blasen gegen das Licht machen.

*) Ich habe mich zwar auf Seite 32 einer ähnlich erscheinenden Erklärungsform bedient, um den Grund des Unterschiedes der beiden Schwebearbeiten, für vertikale und fortschreitende Flächenbewegung anzugeben, aber ich habe stillschweigend vorausgesetzt, dass dann der Leser später darüber aufgeklärt werde, dass unter diesem in Bewegung setzen von mehr Luft bei fortschreitender Bewegung eben hauptsächlich eine Verdichtung von viel mehr Luft gemeint ist, welche nachher nach abwärts geschickt wird.

Wir müssen also annehmen, dass ähnlich, wie im Mund des Blasenden, unter der Fläche eine Luftverdichtung entsteht, welche durch erstere eine von ihr wegstrebende Bewegung erhält und sich dabei wieder ausdehnt.

Lässt man unsern Fallapparat in einer gewissen Höhe über einem oder zwei Lichtern wegfliegen, (Fig. 80a) so erfolgt zuerst eine Ablenkung des Lichtes a, hierauf eine solche des Lichtes b. Je weiter die Lichter vom Fallapparat entfernt sind, um so später erfolgt die Ablenkung und um so schwächer ist dieselbe.

Je grösser die Fläche ist, auf eine um so grössere Distanz macht sich eine solche Ablenkung noch bemerkbar, denn es wird in gleichen Zeittheilchen eine entsprechend grössere Luftmasse verdichtet, und diese legt einen entsprechend grösseren Weg zurück, bis sie sich mit ihrer Umgebung vollständig ausgeglichen hat, also keine Wirkung mehr nach aussen auszuüben vermag. In ähnlicher Weise äussert sich auch eine Vergrösserung der Wirkungsdistanz bei Vermehrung der Geschwindigkeit der Fläche.

Steht von zwei Flächen die eine tangential zur Bewegungsrichtung die andere unter einem kleinen spitzen Winkel, so wirkt die erstere viel rascher und viel stärker auf das Licht.

Bei einer Fläche von etwa 4 □Dm. Inhalt, fand auf eine Distanz von $1^1/_2$ meter noch eine schwache Ablenkung statt, aber erst nach ungefähr 2 Sekunden, nach dem die Fläche über dem Licht passirt war, während dieselbe unter sonst gleichen Umständen bei tangentialer Führung eine starke und in kurzer Zeit ($^1/_2$") erfolgende Ablenkung bewirkte.

Schwach gekrümmte Flächen erzeugten eine geringere Ablenkung als stärker gekrümmte.

Führt man die Fläche das eine Mal unter einer schwachen Neigung, das andere Mal tangential in der in Fig. (80b) angegebenen Weise an einem Licht vorbei, so wird in letzterem Falle die Flamme sehr stark nach der Fläche geneigt, im erstern bemerkt man nur ein schwaches Zucken nach dieser Richtung, d. h. bei tangentialer Stellung herrscht eine starke Luftströmung in dieser Richtung, was bei geringer Neigung der Fläche zur Bewegungsrichtung nur in kleinem Masse der Fall ist.

Diese Versuche zeigen deutlich, dass die vorausgehenden Hypothesen eine Berechtigung haben, dass die eigentlich verlorene Schwebearbeit durch ($R_h . v$) ausgedrückt werden darf, dass also je weniger Luft bei der gleichen Fläche und Schnelligkeit (nach aussen fühlbar) in Bewegung kommt, um so kleiner diese Schwebearbeit, um so kleiner R_h, resp. Winkel ω wird; dass die tragende Wirkung bei dieser fortschreitenden Bewegungsweise der Fläche hauptsächlich auf einer Luftverdichtung beruht und ein möglichst geringer Arbeitsaufwand zur Erreichung dieser Verdichtung

davon abhängt, dass dieselbe wieder so viel als möglich in vorwärtsschiebenden Sinne ausgenützt wird.

Die früheren Versuche mit den Fallapparaten ergaben, dass der Druckangriffspunkt der Fläche etwas vor der Mitte derselben liegt.

Wie viel von dem gesammten Schwebewiderstand $W = q + Rh$ auf q und wie viel auf Rh fällt, darüber können vorläufig nur Vermuthungen aufgestellt werden. Figur (81) giebt ein Bild der Kräftevertheilung (wie ich mir dieselbe ungefähr vorstelle) bei einer gekrümmten Fläche, die um 3^0 zur Bewegungsrichtung geneigt ist. Die Grösse von Rh verhielte sich zur Grösse von q wie (1) zu ($1\frac{1}{2}$).

Ich nehme dabei an, dass Winkel ω bei kleinen wie bei grossen Flächen gleich bleibe, also Rh proportional dem Gewichte zunehme. Ob diese Annahme richtig oder ob bei grossen Flächen ω resp. $\frac{Rh}{R}$ ebenfalls kleiner wird, darüber wage ich mich noch nicht auszusprechen, weil mir zu einer bestimmten Meinung in dieser Beziehung die Unterstützung durch Versuche noch fehlt. Es ist möglich, aus verschiedenen Gründen, zu deren Entwicklung hier der Raum mangelt, dass bei grossen Flächen das $\frac{Rh}{R}$ auch kleiner wird. Verhält es sich damit wie bei der Bewegung von Körpern auf fester Unterlage (wo es auf die Grösse der Letztern nicht ankommt, bezüglich des Reibungswiderstandes) so wird $\frac{Rh}{R}$ resp. Winkel ω bei kleinen und grossen Flächen gleich bleiben.

Es ist nun noch zu erklären, warum die tragende Fläche vorn eine stärkere, nach hinten eine flachere Krümmung besitzen soll; welchen Vortheil sie einer gleich grossen bogenförmigen von gleicher Krümmungshöhe gegenüber hat.

Fig. (82) und Fig. (83) zeigen die beiden Flächen. Der Querschnitt beider senkrecht zur Bewegungsrichtung ist gleich gross, also auch ihr Querschnittswiderstand. Es liegt, wie man sieht, die stärkste Verdichtung bei Fig. (82) mehr nach vorn als bei Fig. (83) also bildet die Drucklinie R' mit der Bewegungsrichtung einen kleineren Winkel als die Drucklinie R. Desshalb ist (R'h) kleiner, oder der Schwebewiderstand der Fläche F' ein geringerer.

Die Form der Fläche von oben gesehen ist eine andere als bei bogenförmiger Querschnittskrümmung. Da die Schnitte unter sich Kurven gleich starker Krümmung sind, (gegen die Enden wird das Krümmungsverhältniss immer kleiner) so wird diese Form eine solche sein müssen, wie sie Fig. (84) zeigt, während bei bogenförmiger Krümmung dieselbe oval, elliptisch oder symetrisch zweieckig sein kann.

Im Grossen und Ganzen ist Fig. (84) nichts anderes, als das Bild des ausgespannten Flügelpaares von oben gesehen während dem Schweben eines Vogels. Constructiv ist eine solche Fläche äusserst leicht herzustellen, da a b eine gerade Linie ist,

Die vergleichenden Versuche, die ich mit Flugapparaten machte, welche mit Flächen beiderlei Gattung versehen waren, zeigten mir deutlich die Ueberlegenheit dieser Flächenform. *)

Man wird stets auf diese Form zurückkehren müssen, ob man sie nun für Fall- oder Segelapparate oder für Flugmaschinen verwenden will.

Um noch einmal auf die Lilienthal'sche Versuchsflächen zurückzukommen (siehe VII) so muss bemerkt werden, dass denselben ein grosser Fehler anhaftet, welcher schuld war, dass die Versuchsresultate nicht ncch besser ausfielen.

Dieselbe hat, wie bereits angeführt, vorn ebenfalls eine stärkere Krümmung als hinten, und trotzdem erscheint sie von oben gesehen, als zweieckig symetrische Form. (Siehe Fig. 85). Darum ist bei den äusseren Flächenpartien das R mehr nach rückwärts geneigt, weil bei ihnen die Theile fehlen, welche den Druck nach vorn der Luftverdichtung empfangen und desshalb vorschiebend wirken. Es scheint also, dass Lthl. nicht vollständig zur Erkenntniss des Wesentlichen bei der Anwendung der gekrümmten Flächenform gelangt ist.

Ich will hier noch eine etwas einfachere Begründung des Unterschiedes zwischen den Druckverhältnissen der ebenen und gekrümmten Fläche anfügen, als diejenige im Anfang dieses Capitels, welche in eingehender Weise den Vorgang unter der Fläche sezirte.

Die grösste Verdichtung unter einer ebenen Fläche (siehe Fig. 69) findet vorn statt. Diese geht nach der Bewegungsrichtung hin und nach oben vollständig nutzlos verloren. Auf welche Weise kann man nun bewirken, dass bei gleich bleibender Flächengrösse die Resultirende senkrechter zu stehen kommt und grösser wird?

Man biegt den Vorderrand der Fläche hinunter (siehe Fig. 86) dadurch entsteht eine Ausnützung der Verdichtung nach vorn in vorwärtsschiebender und tragender Weise und die Gesammtresultirende steht nun statt wie vorher senkrecht zur Ebene E, senkrecht zur Flächensehne s, welche einen bedeutend kleinern Winkel (η) mit der Bewegungsrichtung bildet.

Aus der Schwerpunktslage bei den Versuchen ersah man, dass auch bei gekrümmten Flächen die stärkste Verdichtung etwas mehr nach vorn liegt, dass also die Drucklinie etwas weniger als 90^0 zur Flächensehne geneigt ist (siehe Fig. 87).

Da nun die Beobachtung bei den Fallversuchen zeigt, (nach weniger Uebung erhält man eine ziemlich grosse Fertigkeit im Schätzen kleiner Winkel), dass der Winkel η höchstens 2^0—3^0 beträgt, so muss

*) Anmerkung: Wie ich mir dieselbe für meine Versuche construirte ist aus der Figur ersichtlich. a b ist die Luftverdichtungslinie (ich stelle mir in dieser Weise die Stärke der Luftverdichtung der Länge nach unten der Fläche vor).

Winkel ω kleiner als 92^0—93^0 sein. Wie gross er ist, kann man erst genau sagen, wenn R_h auf die in (VII) angegebene Weise bestimmt wird.

Der Querschnittswiderstand des Flügels wird natürlich etwas grösser durch dieses Herunterbiegen, aber so unbedeutend (da ja auch die ebene Fläche eine gewisse Dicke haben muss), dass diese dadurch entstehende Arbeitsvermehrung gar nicht in Betracht kommt gegenüber dem erzielten Gewinn. Von früher her (VII) wissen wir, dass bei dieser Gelegenheit nach die Tragfähigkeit ungefähr um das Doppelte gewachsen ist.

Wollte man die ebene Fläche in dem Masse vergrössern, dass sie bei dem Neigungswinkel η diese gleiche Tragfähigkeit erreicht, (und ein ungefähr gleich geneigtes R hätte) so würde ihr Querschnittswiderstand sich so vermehren, dass der Vortheil der geringen Neigung der Drucklinie nach rückwärts wieder vollständig verloren ginge.

Es ist also möglich eine Last mit Hilfe einer besonders geformten Fläche durch die Luft zu bewegen in der Weise, dass die Arbeit, (eigentliche Schwebearbeit) welche nöthig ist, um die genügende Unterstützung zu schaffen, eine verhältnissmässig geringe wird, nicht grösser als diejenige, welche die rollende Reibung dieser Last auf einer guten Chaussee verursachen würde.

Der Unterschied gegenüber der Bewegung auf Letzterer beruht darin, dass die den Flug vermittelnden Theile, (die Flügel) in Folge ihrer Grösse mehr Querschnitts- und Luftreibungswiderstand verursachen als die auf fester Unterlage dem gleichen Zwecke dienenden (die Räder).

Die eigentliche Schwebearbeit ist gleich $(R_h . v)$ und da wir nach oben wissen, dass Winkel $\omega - 90^0$ noch kleiner als Winkel η ist, so wird $R_h = R \cos \omega = {}^1/_{30}\, R$ bis ${}^1/_{60}\, R$ (z. B. für $\omega = 92^0$ und 91^0).

Die Gesammtarbeit eines Vogels oder einer Flugmaschine lässt sich also auch folgendermassen ausdrücken:

$A = R_h . v$	$(q + Q)\, v$	
eigentl. Schwebearbeit	Gesammtquerschnittsarbeit	(für Rumpf und Flügel).

In (VII) wurde dieselbe, als man noch keine weitern Betrachtungen angestellt hatte und desshalb $(R_h + q)$ zusammengenommen als Schwebewiderstand W auffasste, folgendermassen ausgedrückt:

$A = (R_h + q)\, v$	$+ Q\, v$	
Schwebearbeit (die für den Flügel überhaupt verwendete Arbeit (s. S. 33).)	Querschnittsarbeit	(aufgewendet für den Rumpf zur Ueberwindung seines Luftwiderstandes.)

$(R_h + q) = W$ ist eine inconstante Grösse, weil q je nach der Geschwindigkeit und der Flächengrösse (bei gleich bleibender Belastung $G = R$) wechselt.

R_h resp. $\frac{R_h}{R}$ hingegen wollen wir als constante Grösse betrachten, unabhängig von der Flächengrösse und der Geschwindigkeit.

Blos zur Flächenform (Krümmung und Grundriss) steht sie, wie wir sahen, in abhängiger Beziehung.

Wenn an blossen Bezeichnungen etwas liegen würde, müssten wir nun streng genommen ein Umtaufen vornehmen, und von nun an Rh Schwebewiderstand und Winkel ω Schwebewinkel heissen, und dafür (q). Flügelwiderstand und Q Rumpfwiderstand nennen. $\frac{Rh}{R}$ heisse Schwebecoeffizient.

Durch die Anwendung dieser neuen, richtigern Arbeitstheilung findet man nun, „dass beim Flieger derjenige Arbeitstheil, den man rein als Schwebearbeit ($Rh \cdot v$) aufzufassen hat, kleiner ist als die gesammte Querschnittsarbeit".

Erinnern wir uns daran, dass der Querschnitt des Taubenrumpfes gleich 28 □ ct. der Querschnittswiderstand $Q = 0{,}006$ Klgr. betrug. Misst man den Querschnitt der Flügel aus, so ergiebt sich ein Inhalt desselben von etwa 21 □ ct., und benützt man den gleichen Reduktionscoeffizienten, so ist sein Querschnittswiderstand $q = 0{,}0045$ Klgr.

Da aus ihrer Arbeitsberechnung erfolgt, dass der gesammte mittlere Widerstand $Rh + q + Q = 0{,}0135$ Klgr. ausmacht, so wäre also $Rh = 0{,}0135 - (0{,}006 + 0{,}0045) = 0{,}003$ Klgr. und $\frac{Rh}{R} = \frac{0{,}003}{0{,}3} = \frac{1}{100}$ oder $\omega = 90^0\,40'$ für eine solche besagte Fläche (Seite 34).

Es theilt sich die Gesammtarbeit folgendermassen ein:

$$\underbrace{0{,}003}_{Rh}\,v + \underbrace{0{,}0045}_{q}\,v + \underbrace{0{,}006}_{Q}\,v = \overbrace{0{,}003\,v}^{\text{eigentl. Schwebearbeit}} + \overbrace{0{,}0105\,v}^{\text{Querschnittsarbeitt}}$$

Also wäre bei der Taube die eigentliche Schwebearbeit blos $^2/_9$ von der gesammten Flugarbeit und der Schwebecoeffizient gleich $^1/_{100}$.

Benützt man diese neue Arbeits- resp. Widerstandseintheilung bei der Taube (überhaupt einem kleinen Vogel) zu weiteren Betrachtungen, indem wir von hier aus eine solche Eintheilung auch auf die grossen Flieger übertragen.

Wir haben dabei stets 3 Fälle im Auge. Den ersten nach welchem die Tragfähigkeit der Fläche blos proportional zunähme, den zweiten wo sie im Verhältniss $(\sqrt{\frac{F}{f}})^3$ wächst und einen dritten, dazwischen liegenden Fall (welchen wir als den wahrscheinlichen annehmen, siehe V).

Vergleich zwischen einem kleinen und einem 8 mal schwereren Vogel mit Benützung der für die Taube gefundenen Arbeitsvertheilung, (Die Querschnittswiderstände sollen mit dem Quadrate der Geschwindigkeit wachsen).

Letztere sei:

Wenn $\sqrt{}$ (d. Geschwindigkeit) $Rh = 1$; (eigentl. Schwbwrstd.) $(q + Q) = 3$; (Querschnittswiderstände) $Rh + (q + Q) = 4$ (Gesammtwiderstd).

Flugarbeit $a = 4 \cdot v$ (Es ist $q = {}^3/_4\,Q = 1{,}3$ also $(Rh + q) = 2{,}3$) (alter Schwebewiderstand)

I. Fall: $v' = 1{,}4\,v$;

$Rh_1 = 8;\ (q + Q)_1 = 4 \cdot 3\ (1{,}4)^2 = 24;\ Rh_1 + (q + Q)_1 = 32;$

$A_1 = 11{,}2\ a$ Es ist der alte Schwebewiderstand gleich $8 + 10{,}4 = 18{,}4$ oder 8 mal grösser.

II. Fall: $v' = v$;

$Rh_2 = 8;\ (q + Q)_2 = 4 \cdot 3 = 12\quad Rh_2 + (q + Q)_2 = 20;$

$A_2 = 5a$ [$(Rh + q)_2 = 8 + 5{,}2 = 13{,}2$ oder weniger als 8 mal grösser.]

III. Fall: $v' = 1{,}2\,v$;

$Rh_3 = (8;\ q + Q)_3 = 4{,}3\ (1{,}2)^2 = 17{,}4;\ Rh_3 + (q + Q)_3 = 25{,}4$

$A_3 = 7{,}6\ a$ ($(Rh + q)_3 = 8 + 7{,}5 = 15{,}5$ also auch weniger als 8 mal grösser)

In diesem Falle wäre die alte Schwebearbeit $1^1/_2$ mal so gross als die Querschnittsarbeit, also nicht 3 mal, wie wir Seite 41 voraussetzten. Der Vergleich mit dem Ballon wird desshalb für die Flugmaschine noch viel günstiger ausfallen, als dort angegeben ist, und auch aus dem weitern Grunde, weil diese Schwebearbeit nicht proportional dem Gewichte des Fliegers wächst (siehe S. 42).

Ebenso fällt durch dieses Ergebniss der auf Seite 13 aufgeführte Vergleich zwischen dem kleinen und grossen Vogel noch mehr zu Gunsten des Letzteren aus. Ferner sieht man, dass auch bei dieser neuen Auffassung des Schwebewiderstandes mit der Vergrösserung des Vogels der Querschnittswiderstand im Verhältniss zu ersterem sich stets vermindert (für die Fälle II u. III), so dass für Fall II für einen Vogel, der 1000 mal schwerer als die Taube wäre, der Schwebewiderstand das 3fache statt $^1/_3$ des Querschnittswiderstandes ausmachen würde.

Obiges Zahlenbild giebt ohne weitere Erklärung einen Einblick in die Arbeitsvertheilung für die verschiedenen Fälle. Der dritte Fall deckt die durch die Naturbeobachtung erwiesene Thatsache, dass die Sekundenarbeit des grossen Vogels etwas kleiner und seine Normalgeschwindigkeit etwas grösser als diejenige des Kleinen ist. Man wird dadurch schon überzeugt von der Wahrscheinlichkeit der Behauptung in (V).

Die Tragfähigkeit der Fläche müsste im dritten Fall statt proportional (4 mal) etwas mehr, nämlich 5,8 mal und im Zweiten müsste sie 8 mal grösser geworden sein, bei gleicher Geschwindigkeit v.

Bei dieser Gelegenheit will ich noch zeigen, wie bei diesen verschiedenen Fällen die Arbeitserfordernisse sind, wenn es sich darum handelt einfach von A nach B zu gelangen ohne Rücksicht auf die Zeit. Um vom Orte A nach dem Orte B zu gelangen mit dem geringsten Aufwand von Arbeit wird ein Körper auf fester Unterlage sich so langsam als möglich bewegen, um so wenig als möglich Luftwiderstand hervorzurufen.

Der fliegende Körper ist aber an eine gewisse minimale Geschwindigkeit gebunden (Normalgeschwindigkeit siehe S. 34) bei welcher er die geringste Unterstützungsarbeit leistet.

Der kleine Vogel braucht gerade eine Sekunde um mit dieser Geschwindigkeit von A nach B zu gelangen

seine Arbeit ist:	= a	Flugzeit	= 1 sek.
Die Arbeit des grossen Vogels im I. Fall ist:	= 8a	„	= 0,7 „
„ „ „ „ „ „ II. „ „	= 5a	„	= 1 „
„ „ „ „ „ „ III. „ „	= 6,3a	„	= 0,83 „

Der 8 mal grössere Vogel hätte also in dem Fall, den wir als den der Wirklichkeit am nahe kommendsten annahmen blos eine 6,3 mal so grosse Arbeit zu leisten wie der Kleinere, um von einem Ort zum Andern zu gelangen.

Ueber einen *Vergleich* zwischen *flachen* und *stärker* gekrümmten *Flächen* gleicher Grösse könnte man sich nach der bisherigen Einsicht ungefähr folgendermassen auslassen:

1. Flachere haben eine grössere Geschwindigkeit nöthig, um eine gleiche Tragkraft zu erzielen, dafür ist ihr Querschnitt kleiner und desshalb die Querschnittsarbeit q . v trotz der grösseren Geschwindigkeit gleich und unter Umständen noch kleiner als bei den stärker gekrümmten Flächen (siehe Seite 34 und Fig. 89d).
2. Es findet trotz der grösseren Geschwindigkeit keine so starke Luftbewegung nach abwärts statt, die Comprimirung wird noch besser zum Vorschieben ausgenützt, also wird $\frac{Rh}{R}$ und damit überhaupt die gesammte Schwebearbeit für schwächer gekrümmte Flächen bei grösserer Geschwindigkeit kleiner oder wenigstens höchstens gleich gross wie für stärker gekrümmte bei geringerer Geschwindigkeit.

Sehen wir uns noch einmal kurz darnach um, was über die *Tragfähigkeit der Flächen* gesagt wurde, (siehe V) und machen wir eine Betrachtung vom Standpunkte der vorigen Versuche aus.

Sind zwei Flächen f und F von gleichen Krümmungsverhältniss und gleicher Geschwindigkeit gegeben, so könnte man folgendes Argument machen: „Wir nehmen an, dass unter der grossen Fläche eine nicht nur im Flächenverhältniss, sondern auch noch im Tiefenverhältniss grössere Luftmasse unter dem Einfluss der Verdichtung steht. In Folge dessen könne, weil kein. so rascher Ausgleich denkbar sei, die Verdichtung auf einen höhern Grad in Bezug auf Druckäusserung getrieben werden, was die mehr als proportional zur Flächenvergrösserung gewachsene Tragfähigkeit bedeuten würde.“ Ich will mich dabei nicht länger aufhalten. Bewahrheiten die Versuchsergebnisse die Zwangsannahme in (V), so wird sich eine annähernd richtige Hypothese für den Vorgang finden.

Ueber den sog. *Querschnittswiderstand* will ich bemerken, dass bei seiner Berechnung der Flächeninhalt des Querschnittes, senkrecht

zur Bewegungsrichtung des Körpers, zu Grunde gelegt und dann mit einem Reductionscoifffzienten multiplizirt wird.

Letzterer ist ein Versuchsergebniss. Die Berechnungsformel lautet also: $Q = c \cdot 0{,}13\ F\ v^2$, wobei F die Grösse des Querschnittes bedeutet. Pénaud fand, wie schon angeführt, für ihn die Grösse $^1/_7$ bei einem Vogel.

Für den Renard und Krebs'schen Ballon wurde der Reduktionscoeffizient $^1/_6$ gefunden. Er hatte die Form (siehe Fig. 33). Der Reduktionscoeffizient einer Kugel beträgt $^1/_3$ (nach Lössl).

Ferner wird angenommen, dass dieser Widerstand im Quadrate mit der Geschwindigkeit zunehme, (ähnlich wie die Tragfähigkeit der Flächen).

Diese Annahme erleidet eine Modification, indem, wie wir in (II) erläuterten, die vorn verdichtete Luft bei entsprechender Körperform hinten wieder druckabgebend wirken kann, und die Luftreibung an der Oberfläche, resp. die innere Reibung zwischen den von der Oberfläche mitgerissenen Lufttheilchen und der übrigen umliegenden Luft jedenfalls eine wichtige Rolle spielt.

Je nach dem, ob die Reibung kleiner oder grösser ist als der eigentliche Querschnittswiderstand im engern Sinne. (Die Differenz zwischen der Hemmung vorn und dem Nachschub von hinten) wird die Querschnittsarbeit bei Vergrösserung der Geschwindigkeit zunehmen.

Die Luftreibung (r,) werde sie nun als Oberflächen oder als innere Reibung betrachtet, nimmt proportional mit der Geschwindigkeit zu; obige Differenz (q) hingegen mit dem Quadrat der Geschwindigkeit, (da der Druck auf die Wandung in diesem Sinne wächst).

Es ist also: $Q = v\,r + v^2\,q$.

Daraus geht hervor: „Zeigen Versuche, dass das Wachsen des Querschnittwiderstandes eher proportional mit der Geschwindigkeit erfolgt, so ist dies ein Zeichen, dass die Luftreibung (r) die überwiegende Grösse ist; wächst er eher im Quadrate mit der Geschwindigkeit, so überwiegt(q.)"

Die Querschnittsarbeit hängt im einen Fall eher vom Quadrate, im andern eher vom Cubus der Geschwindigkeit ab. Je nach dem Grössenverhältniss von r und q schwankt sie zwischen diesen beiden Grenzen.

Ueber die Flächenform. Es ist noch eine Erklärung dafür zu geben, warum die tragenden Flächen, an den Enden schmaler werdend, in einem Punkte auslaufen (siehe Fig. 88a).

Wäre dies nicht der Fall (siehe Fig. 88b) so würde in der Flächengegend (a) ebenfalls eine ähnliche Verdichtung entstehen, wie in der Mitte der Fläche. Diese Verdichtung käme aber nur in geringem Masse wieder zur Geltung, weil sie grossentheils seitlich, also nutzlos entweichen

würde. Es wäre also überflüssige Verdichtungsarbeit geleistet worden bei dieser viereckigen Flächenform.

Bei der richtigen Form hingegen findet in a keine Verdichtung mehr statt, also kann auch keine nutzlose Entweichung verdichteter Luft vorhanden sein.

In b, wo schon eine Verdichtung auftritt, wirkt dieselbe bei der seitlichen Ausdehnung tragend auf die äusserste Flächenpartie a u. s. w.

Ein weiter zu beachtender wichtiger Punkt ist die Verstärkung des Vorrandes der Fläche. Auf den ersten Blick sollte es scheinen, diese sei ein unumgängliches Uebel, um genügende Festigkeit der Fläche zu erzielen; es zeigt sich, dass diese Verstärkung allerdings den Querschnittswiderstand q vergrössert, dafür aber bewirkt, dass die Drucklinie R um etwas grösser und mehr nach vorn geneigt wird, was aus der Vergleichung der Fig. (89a) und (89b) hervorgeht. Der Druck von oben auf das Stück a b wird durch R' repräsentirt, welches einen Theil von R, aufhebt, also R kleiner und mehr nach rückwärts geneigt macht, bei der andern Fläche kann kein Druck, sondern blos ein grösseres q entstehen. Verschiedene Versuche, welche ich in dieser Richtung mit zwei- und einflüchigen Fallapparaten vornahm, zeigten mir, übereinstimmend mit der theoretischen Ueberlegung, dass bei der Verdickung des Vorderrandes der Angriffspunkt noch weiter vorrückte, also ein Zeichen, dass R mehr nach vorn geneigt und grösser wurde, und zwar war durch scharfes Verfolgen der Versuche leicht ersichtlich, dass der Nachtheil der Vergrösserung des Querschnittswiderstandes q wohl aufgehoben wurde durch den besagten Vortheil, welcher $\frac{Rh}{R}$ kleiner macht.

Man kann annehmen, dass auch in Folge dessen kleine Neigungsänderungen in der Windrichtung weniger Einfluss auf die Fläche haben, wie wenn am Vorderrand keine Verstärkung vorhanden wäre.

Dass bei einer Fläche, wenn sie plötzlich aus der Ruhe in Bewegung gesetzt wird (Schlagwirkung siehe III) der Druck auf dieselbe bedeutend grösser sein muss, als wenn sie sich in continuirlicher Bewegung senkrecht zur Richtung derselben befindet, ist einem erklärlich, wenn man bedenkt, dass in diesem Fall auf der Unterseite plötzlich eine Verdichtung, und auf der Oberseite eine theilweise Entlastung, (geringe Luftverdünnung) entsteht, ein plötzliches in Bewegungversetzen der bisher trägen Luftmasse vor sich geht, normal zur Fläche; während bei der continuirlichen Bewegung beständig ein verdichteter Luftkeil vor der Fläche hergeschoben wird und die ihm vorliegende Luftschicht theilt, wobei nur eine kleinere Componente der Verdichtung, welche dabei entsteht, auf die Fläche reagirt. (Siehe Fig. 88c)

In ähnlicher Weise entsteht auf der Oberseite unserer gekrümmten Versuchsfläche fortwährend eine ganz geringe Verdünnung, was durch

das Nachströmen der Luft (bevor die Fläche das Licht passirt hat) siehe Fig. 80b, bewiesen wird. Diese Oberseite wird dadurch etwas entlastet. Dass die Verdichtung auf der Unterseite (welche immerhin den Hauptheil des Drucks nach oben ausmacht, wie mich Versuche belehrten) und diese minimale Verdünnung (Entlastung) auf dem Hintertheil der Oberseite nur äusserst bescheiden sind, beweist der Umstand, dass die gesammte mittlere Druckdifferenz von Unter- und Oberseite (der Tragfähigkeit der Fläche entsprechend) blos etwa $\left(\frac{8}{10000} A\right) = \frac{1}{1200}$ Atmosphäre ausmacht. Man könnte diese Bewegung einer Fläche unter spitzem Winkel auch als eine Art continuirlicher Schlagwirkung auffassen.



IX. DIE FLUGMASCHINE.

Die drei Typen derselben. — a) Das Schraubenluftschiff. — b) Vogelnachahmung, Nochmaliges Zurückkommen auf dem Flugvorgang und die Bedeutung der Luftsäcke, Vervollständigung des Flugbildes, Constructives. — c) Verwendung des lenkbaren Fallschirmes oder Luftsegelschiffes als Flugmaschine. — Nutzeffect der Schraube. — Anwendung derselben. — Fliegendes Modell. — Grösse und Umdrehungszahl der Schrauben. — Ueber Grösse und Arbeit einer Flugmaschine von 500 Klgr. Gewicht. — Ueber den Motor. — Drei Gattungen der Flugmaschine. — Die Lenkung und Orientirung. — Fluggeschwindigkeit. — Weitere Hauptpunkte die der Construction als Grundlage dienen müssen.



Es liegt ein eigenthümlicher Zauber in diesem Worte. In der Phantasie entsteht unwillkürlich ein Gebilde, das grosse Aehnlichkeit mit irgend einem fliegenden Ungeheuer aus der Sekundärzeit besitzt. Vielleicht würden die Vorstellungen Vieler einer dieser Periode der Erdgeschichte entstammenden Flugeidechse (Pterodactylus) gleichen. Versteinerungen von solchen, riesigen Fledermäusen gleichenden Thieren, weisen Flügelspannweiten von über 8 Meter auf.

Jeder, der sich eingehender für das Flugthema interessirt hat, wird gesehen haben, dass in der grossen Anzahl von Lösungsversuchen hauptsächlich 3 Constructionstypen hervorragende Stellen einnehmen.

a) Ein Typus ist das eigentliche Schraubenluftschiff, bei welchem das Getragenwerden, sowie das Vormärtskommen durch Schrauben besorgt wird. (siehe Fig. 90

b) Als Zweiter figuriren die verschiedenen Constructionen, welche den Vogel direkt in der Weise nachahmen, dass 2 oder mehrere grosse Flügelflächen durch Auf- und Niederbewegungen den Apparat tragen und zugleich vorwärts treiben. Fig 91.

c) Ein dritter Typus ist die uns bekannte Aeroplane (Luftebene) welche mittelst einer Schraube durch die Luft gezogen wird. (Fig. 93.)

a) Das Schraubenluftschiff hat aus verschiedenen Gründen eine wenig Erfolg versprechende Bauart.

Erstens müsste die tragende Schraube über sehr grosse Flächen verfügen, gleich grosse, wie sie eine Aeroplane nothwendig hätte, wenn sie nicht von vorne herein mit einem viel grössern Arbeitsverlust rechnen will.

Zweitens verbleibt man, indem man die gleiche treibende Kraft wie bei letzterer verwendet, erst an gleicher Stelle schwebend, während die Aeroplane mit der Schnelligkeit, welche gleich der Umdrehungsgeschwindigkeit der Schraube gleichen Flächeninhalts im Druckangriffspunkt ist, nach vorwärts kommt.

Drittens wirkt eine solche Tragschraube, so wie Wind herrscht, ungleichmässig (siehe Fig. 94.). Auf der Seite B herrscht ein Ueberdruck, herrührend von der Windgeschwindigkeit plus Propellergeschwindigkeit, auf der andern Seite A wirkt blos die Differenz beider Geschwindigkeiten.

Es müssten also, um ein Umkippen des Apparates zu vermeiden, mindestens 2 Tragschrauben angebracht sein.

Viertens wäre keine Segelfähigkeit vorhanden. Das ist ohne weitere Auseinandersetzung einleuchtend.

Die den Vogel in Bau und Bewegung nachahmenden Flugmaschinen haben

Erstens mit grossen constructiven Schwierigkeiten zu kämpfen, denn es wird stets seine Hacken haben, so grosse Flugflächen von einem Achselgelenk aus zu dirigiren, ohne sehr grosse Reibungsverluste; ferner die Flügelfläche selbst ihren jeweiligen Funktionen anzupassen, so dass beim Niedergang der innere Theil mehr das Tragen, der äussere mehr das Vorwärtstreiben übernimmt, und bei der Hebung der letztere so wenig als möglich Widerstand verursachend, um dies zu können, in Folge seiner Krümmung eine bogenförmige Bahn verfolgt.

Zweitens würde der Rumpf sich in beständigen Schwankungen nach oben und vorn, nach abwärts und nach hinten sich befinden. Ob dies dem oder den Passagieren gerade zuträglich wäre, ist fraglich.

Man könnte sich eine vereinfachte Constructionsweise denken (ich bearbeitete dieselbe seiner Zeit ziemlich eingehend) wo beide Flügel zu einem vereinigt wären und diese steife gekrümmte Fläche dann das Tragen und Vorwärtsbewegen besorgen und auch ihre Hebung so arbeitsparend als möglich vollziehen würde. (Fig. 95) zeigt ein schematisches Bild dieser Einrichtung.

Um zwecklosen Arbeitsverlust zu vermeiden, müssten (wie wir aus (III) wissen) federnde Theile angebracht werden.

Diese letztere Anführung macht mich darauf aufmerksam, dass ich noch einen kleinen Abstecher machen und Einiges nachholen muss was zur Vervollständigung der Erklärung des Flugvorganges (Seite 15) gehört.

Ob ein Körper sich auf einer ebenen Bahn von A nach B bewege oder auf einer gebrochenen (siehe Fig. 96), die Reibungsarbeit ist die nämliche. Ebenso kann man sagen ob der Körper, wenn er statt einer festen Unterlage der Luft und einer entsprechenden Fläche sich bedient, sich in der Weise wie Fig. (97) es zeigt, von A nach B bewegt oder wie Fig. (98) dies veranschaulicht, die Schwebearbeit bleibt die gleiche. Der Zug der zwischen Fläche und Körper herrscht ist in beiden Fällen gleich seinem Gewicht.

Im ersten Fall kann eine feste Verbindung die Vermittlung bilden, im zweiten Fall muss die Verbindung verkürzbar oder verlängbar sein. Bei ihrer Verkürzung muss dabei die Arbeit K h geleistet werden und bei ihrer Verlängerung ebenfalls wieder die Arbeit K h, denn es ist in beiden ein Zug K auf der Strecke h thätig, während in Fig. (97) der Zug K keinen Weg zurücklegt.

Bei Behandlung des Vogelfluges und an anderen Stellen wurde bemerkt, dass der innere tragende Theil des Flügels auch bei der Flügelhebung tragend wirke, er ist dazu gezwungen, weil seine Krümmung nicht mit seiner Weglinie zusammenfällt, wie dies bei den äusseren Flügeltheilen bei der Hebung möglich ist. (Siehe Eig. 99.)

Man muss also annehmen, da $K = k_1 + k_2$, dass auf dem ganzen Weg A B ein Theil (k_1) der Rumpflast getragen wird. Die Brustmuskeln hätten dafür die Arbeit, entsprechend ($2k_1h$) zu leisten, also eine Arbeit die das System I nicht kennt. Nun erst ist dazu noch die Flugarbeit zu verrichten: $(Q + R h + q) v$.

Die vom Brustmuskel ausgehende Kraft $\left(\frac{k_2}{X} + k_2\right)$ welche diese liefert findet ihren Stützpunkt an der Rumpfmasse und am übrigen Theil des Rumpfgewichtes.

Je grösser diese beide Arbeiten sind, um so stärker muss der Brust muskelzug sein, um so mehr wird der Rumpf gehoben während dem Niederschlag, um so gröser muss (stets Horizontalflug vorausgesetzt) sein Fall sein, also um so grösser die Flügelhebezeit im Verhältniss zur Niederschlagzeit, um so grösser auch der Weg des äusseren treibenden Flügeltheiles.

Ist $X = 1$ d. h. die Hebezeit gleich der Niederschlagzeit so ist ein Maximum des Brustmuskelzuges vorhanden. Ist $X = 2$ oder 3, also die Niederschlagzeit doppelt oder dreimal so gross wie die Hebezeit und herrscht dieser Zug trotzdem, so findet in Folge dessen während dem Fliegen ein Steigen des Vogels statt.

Von vorn gesehen werden also die Projektionen des Vogels bei höchster und tiefster Flügelstellung so zu einander liegen müssen, wie Fig. (100) zeigt.

Würde der Kreuzungspunkt c gerade im Flächenschwerpunkt des tragenden Flügeltheils liegen, so könnte dieser als eine in immer gleicher Höhe bleibende Fläche betrachtet werden, an welcher ein Theil des Rumpfes (k_1) beständig aufgehängt ist und mit dem andern Theil (k_2) mitgehen muss, welcher die Auf- und Abwärtsbewegung in Folge einestheils des Brustmuskelzuges, der das Vortreiben mit Hilfe des äussern Flügeltheiles besorgt, andterntheils der eignen Schwere, macht. In beiden Fällen, ob nun der Rumpf gleich hoch geblieben wäre, wie in Fig. y, oder ob er steigt und fällt, stets hätte der Brustmuskel während des Steigens und Fallens des Rumpfes, resp. des Druckangriffspunktes des innern Flächentheils, welcher (k_1) trägt, einen Zug (neben dem unumgänglichen Zug, welcher zur Ueberwindung des Gesammtwiderstandes ($W + Q$) nöthig ist) gleich k_1 auszuüben, also von ihm obige Arbeit ($2\,k_1 . h$) geleistet werden müssen, dieselbe würde rein als innere Arbeit verloren gehen, während sie bei einem künstlichen Mechanismus, da das eine Mal ein anziehender, das andere Mal ein nachlassender Zug herrscht, einfach durch Stahlfedern oder elastische Luftkissen (eingesperrte Luft, ersetzt werden könnte.

*) Die Natur hat wohlweislich dafür gesorgt, dass keine solchen Verluste vorkommen bei all den Fliegern, welche in Folge langer Flugreisen haushälterisch mit ihren Kräften wirthschaften müssen, und welche, wenn irgendwie möglich, beim Fliegen die Unterstützung von aufsteigenden Windströmungen in Anspruch nehmen.

Sie verwendet die Luftsäcke (siehe Seite 17) ausser zur Respiration, als solche Arbeit ansammelnde und wieder abgebende Luftkissen. Weil dieselben willkürlich abschliessbar sind, kann sie der Vogel nach Belieben mit comprimirter Luft füllen, so dass dann die auf Seite 17 angeführte, (die Flügel-Muskelpartie umgebende) Schulter-Schlüsselbein-, Achsel- und Rückenluftzelle wie eine Feder wirkt, welche während der Flügelhebung (resp. Rumpffall) gespannt wird und beim Flügelniedergang (Rumpfhebung) diese Spannung wieder in der Weise abgiebt, dass sie

*) Ich will hier bemerken, dass folgende Betrachtung eine Ansicht von mir ist, die sich mir bei der Untersuchung der Flugmechanik unwillkürlich aufdrängen musste, so dass es mich wunderte, in keiner bezüglichen Abhandlung einen Hinweis auf diese Funktionen der Luftsäcke zu finden. Es wird desshalb diese vorläufig als Hypothese dastehende Darlegung etwas kühn erscheinen, da sie, wenn sie richtig ist, die ganze Flugdynamik auf eine andere, von der bisherigen in Vielem verschiedene Basis, stellen würde. Leider war es mir bis jetzt aus Mangel an Material nicht möglich, die Luftsäcke bei grossen guten Fliegern und Seglern auf ihre Expansivkraft hin untersuchen zu können.

den Flügel niederziehen resp. den Rumpf heben hilft. (Siehe das Schema Fig. (101).

Sei der Rumpffall klein oder gross, resp. der Weg des Druckangriffspunktes des tragenden Flächentheils gross oder klein, durch diese Funktion der Luftsäcke wird jeder innere Arbeitsverlust vermieden, und werden die, bei der Umwandlung der Fallbewegung in die wieder Steigende des Rumpfes, sonst unvermeidlichen schädlichen Stösse aufgehoben.

Wird ein Luftsack verletzt oder der pneumatische Oberarmknochen eines solchen grössern Vogels angebohrt, so kann er nur noch eine kurze Strecke weit fliegen, was jedenfalls eben so sehr dem nun nothwendigen, vermehrten Arbeitsverbrauch, wie der unterbrochenen Respiration zuzuschreiben ist.

Bei den hühnerartigen Vogeln ist diese betreffende Luftsackpartie klein, sie fliegen auch desshalb mit einem verhältnissmässig grösseren Arbeitsaufwand. (Unser Arbeitswerth auf Seite 30 ist also auch aus diesem Grunde ein Maximum). Es werden allerdings, da die Schlagfolge eine geschwinde ist und sie die Flügel sehr rasch heben, die inneren Flügeltheile eher ihren Bahnlinien sich anpassen, und dadurch wird ein unnöthiger (der innere Flügeltheil darf bei diesen Vögeln bei der Hebung nur wenig tragen aus Mangel genügend grosser Luftsäcke) Widerstand so gut als möglich vermieden werden (siehe Fig. 102). Die Kleinheit dieser Luftsackpartie ist auch ein weiterer Grund, warum diese Vögel fürs Segeln untauglich sind; weil eben keine Entlastung der Brustmuskeln vorhanden ist (siehe Seite 17).

Es ist ganz gut denkbar, dass bei langsamer Schlagfolge und kleinerm Schlagwinkel der Gewichtsschwerpunkt des Flügels (siehe Fig. 103) in den Kreuzungspunkt c fällt; es würde also die Flügelmasse weder fallen, noch müsste sie gehoben werden, sie wird sich nur um den Punkt c auf und abwärts drehen. Die nachtheilige Wirkung der Trägheit derselben beim Uebergang des Flügels in der Tiefenlage (Fig. 104) würde dadurch auf ein Minimum reduzirt.

Nun sind wir im Stande mit Hilfe des Früheren ein vollständiges Flugbild zu liefern. (Siehe Fig. 104). Ich werde keine weiteren beschreibenden Worte hinzufügen, das Nothwendige findet sich bei der Figur selbst vor.

Dass der bogenförmige Uebergang des äussern Flügeltheiles vom Niederschlag zur Hebung so arbeitsparend als möglich vor sich geht versteht sich von selbst. Beim Vogelflügel wird die beste Anpassung der einzelnen Theile an ihre jeweilige Bahnlinie grösserntheils von selbst mit Hilfe des Winddrucks und ihrer Elastizität sich vollziehen. Der Weg den irgend ein Flügelpunkt beschreibt, ist eine Schraubenlinie.

Man dürfte jetzt auch im Klaren sein, welche Punkte beim Bau

einer Flugmaschine berücksichtigt werden müssen, wenn dieselbe direckt den Vogel nachahmen soll.

Ihre Flügel haben aus einem tragenden (entsprechend der Fächerfederpartie des Vogelflügels) und einem tragend und treibenden (entsprechend der Schwungfederpartie desselben) Theil zu bestehen, welche beiden Theile aber im Stande sein müssen für Segelzwecke wieder eine einheitliche gekrümmte Fläche zu bilden, während sie während dem Fliegen beim Niederschlag windschief zu einander stehen. Dieses Anpassungsvermögen, wie es der Vogelflügel besitzt, einem künstlichen Flügel einzuverleiben, dürfte die grössten construktiven Schwierigkeiten bieten.

Ferner müssten die Flügel noch durch einen federnden Theil mit dem Rumpf in Verbindung stehen. Man würde am besten das Vorbild der Natur nachahmen und nur statt der Luftsäcke Cylinder, welche mit einem Windkessel in Berührung ständen, benützen. (Siehe Fig. 105).

Ein solcher Windkessel dürfte so wie so als nützliches Zwischenglied dienen, um die Bewegung vom eigentlichen Motor, welcher ziemlich constant arbeitet und eine mittlere Stärke besitzt auf die Kolben der Betriebscylinder zu übertragen, welche dann je nach Umständen für kurze Zeit eine ausserordentliche Leistung (bei starken Steigungen) übernehmen könnten und umgekehrt, wenn Segelmöglichkeit oder Sinken stattfindet, wieder ausser Betrieb wären, während der Motor ruhig weiter arbeitend die Windkesselspannung erhöht, um so für aussergewöhnliche Fälle, die er direkt nicht übernehmen könnte, Arbeit zu accumuliren.

c) Unterziehen wir nun auch noch den dritten angeführten Typus, die mittelst Schrauben durch die Luft gezogene Aeroplane, einer näheren Betrachtung und fragen wir, ob dieselbe geringere Arbeitsanforderungen als das Schraubenluftschiff, und leichter zu lösende Constructionsbedingungen als der zweite Typus stellt, so ist die Antwort leicht zu geben. Beides ist der Fall, ersteres ist bereits begründet, letzteres liegt auf der Hand, da eine steife grosse Fläche leichter zu bauen ist als eine elastische. Das Arbeitserforderniss der Aeroplane hingegen ist viel grösser als dasjenige des Typus (b).

Benützt man aber statt einer Aeroplane unsern lenkbaren Fallschirm, dessen gekrümmte Flächen so construirt sind, wie es in VIII angegeben ist, dann wird diese Flugmaschine nicht mehr Flugarbeit aufwenden müssen, als der Typus (b), vorausgesetzt, die treibende Schraube arbeite mit sehr wenig Verlust.

Dies letztere zu untersuchen und zu bestimmen, welche Bauart für dieselbe die beste ist, sei unsere vorläufige Aufgabe.

Die beiden Flächen der zweiflügeligen Schraube (siehe Fig. 106) müssen nach den gleichen Prinzipien wie die grossen tragenden Flächen gebaut sein. Ist dies der Fall so werden sie auch ebenso gut wirken,

bei möglichst geringem Bahnwiderstand eine grosse Trag- resp. Zugfähigkeit nach vorn äussern.

Soll sie ohne Ortsveränderung eine blos tragende oder ziehende Wirkung ausüben, so wird eine starke Luftströmung nach abwärts oder rückwärts erzeugt, dieselbe saugt die umliegende Luft an (siehe Fig. 107)*) Anders gestaltet sich die Sache, wenn die Bewegung der Schraube zur drehenden, zugleich eine fortschreitende ist. Jede Schaufel trifft stets auf ruhende Luftmassen, sie bewegt sich also unter gleichen Bedingungen wie die tragenden Flächen.

Verglichen mit einem festen Schraubengewinde repräsentirt $N' = R'$ den Normaldruck auf die Gangfläche, $R'h$ den Reibungswiderstand und q' den Luftwiderstand des im Gewinde bewegten Stückes. $R'h + q'$ ist der Widerstand in der Schraubenlinie. Verwendet zum Zug in der Bewegungsrichtung des Flugfahrzeuges wird $N \,.\, \sin\varsigma$; dieser muss gleich sein $(Rh + q + Q)$.

Die Schraubenarbeit (welche zu ihrem Betrieb verwendet wird und damit die Arbeit für die ganze Flugmaschine repräsentirt) besteht aus den zwei Arbeiten:

$$= \underset{\text{(Flugarbeit)}}{N' \sin\varsigma \; v} \quad + \quad \underset{\left(\text{durch Anwendung der Schraube verlorene Arbeit.}\right)}{(R'h + q')\, v'}$$

Es ist $v' = \frac{1}{\cos\varsigma} \cdot v$

ferner $R'h + q' = \frac{N'}{30}$

und da $N' = \frac{Rh + (q + Q)}{\sin\varsigma}$

$\left\{ \text{wenn man den Schwebewinkel } \gamma = 92^0 \text{ zu Grunde legt, so ist die Gesammtarbeit, welche der Motor zu leisten hat:} \right\}$

$$\text{so ist } A = [Rh + q + Q] \cdot \left(\frac{N'}{30} \cdot \frac{1}{\cos\varsigma}\right) v$$

$$\text{oder } A = [Rh + q + Q] \cdot \left(1 + \frac{1}{\sin\varsigma \,.\, \cos\varsigma \,.\, 30}\right) . v$$

Dieser Werth ist ein Minimum, wenn $\sin\varsigma \cos\varsigma$ ein Maximum wird was bei $\varsigma = 45^0$ der Fall ist. Es ist dann $\sin\varsigma \,.\, \cos\varsigma = 0{,}5$.

Die beim Betrieb durch die Schraube verloren gehende Arbeit $= 1/15$ der Flugarbeit, resp. von der Gesammtarbeit, welche die Schraube leistet gehen 7% verloren, sie hat also einen Nutzeffekt von 93%. Müsste man q' grösser nehmen, wegen dem Widerstand der Verbindungsstücke mit

*) Stehen die zwei Flächen der Schraube unter einem gewissen Winkel zur Bewegungsrichtung, so kann in Folge dieser abwärtsgehenden Luftströmung der Auftrieb nicht so gross sein, wie wenn diese Flächen in geradliniger Richtung unter diesem Neigungswinkel sich fortbewegt hätten. Dies wird hauptsächlich der Grund sein warum L. bei seinen Versuchen am Rotationsapparat keine befriedigenden Resultate erhalten konnte.

den Schaufeln, so dass z. B. $R'h + q' = \frac{N'}{20}$ würde, so wäre ihr Nutzeffekt = 90%

Dieser Arbeitsverlust von 10% wäre jedenfalls nicht grösser, als der durch das unvollkommene Anpassungsvermögen des dem Vogelflügel nachconstruirten mechanischen Flügels entstehende; wenn er noch grösser ausfiele, so würde dieser Nachtheil wohl aufgewogen durch die Vortheile einer geradlinigen Bewegungsart gegenüber einer auf- und abschaukelnden.

Selbstverständlich sind die Schrauben vorn an dem bisherigen lenkbaren Fallschirm oder Luftsegelschiff angebracht und zwar wäre eine Flugmaschine mit zwei solchen Schrauben, die sich gegenläufig bewegen, versehen (siehe Fig. 108). Es würden dadurch zwei Vortheile und ein Nachtheil gegenüber der Verwendung von nur einer Schraube erzielt.

Der erste Vortheil bestände darin, dass die Drehmomente nicht berücksichtigt werden müssten, während bei Anwendung von nur einer Schraube ihr Drehmoment störend wirken würde in der Zeit der Ankunft und der Abfahrt des Fahrzeugs, wo noch kein oder nur ein geringer Auftrieb auf die tragende Fläche vorhanden ist, also derselbe mit der Schwerkraft zusammen noch kein diesem Drehmoment entgegenwirkendes Kräftepaar bilden könnte.

Der zweite Vortheil ist noch wichtiger. Da jede Schraube vor je einer vordern Flächenpartie liegt, so schafft sie bei Beginn der Bewegung Luft unter die letztere; diese starke Luftströmung allein trägt schon viel zum Gehobenwerden des Apparates bei, bis er seine Normalgeschwindigkeit erreicht hat. Umgekehrt, wenn die Maschine sich wieder dem Boden nähert und ihre Horizontalgeschwindigkeit gehemmt wird bis zum Stillstand, so lässt man die Schrauben weiter arbeiten (siehe Fig. 109) und schiebt die 3 oder 4 Räder, die beim Flug in möglichst wenig Luftwiderstand verursachenden Ansätzen verborgen sind, vor. Es entsteht die besagte Luftströmung von vorn nach hinten und dadurch der Auftrieb R' auf die Flächen. Dieser und die Zugkraft der Schraube selbst in der Richtung B vermitteln dann ein ganz allmäliges gefahrloses Erreichen des Bodens. (Fig. 110).

Dieses Experiment lässt sich mit dem Modell (siehe Fig. 111), welches ich mir für Demonstrationszwecke construirte, sehr gut ausführen. Dasselbe fliegt ohne Anstand in horizontaler Richtung, bis der zum Betrieb der Schraube verwendete Kautschuk abgerollt ist und erfüllt alle Voraussetzungen, die vor seiner Thätigkeit gemacht wurden.

Ist die Maschine in vollem Flug begriffen, so wird die sonst verloren gehende Schwebearbeit der Schrauben (bei Anwendung blos einer Schraube vor der Mitte des Rumpfes) wieder theilweise aus-

genützt, indem die verursachte, wenn auch jetzt schwache Luftströmung, tragend auf die Flächen wirkt. Die Benutzung blos einer Schraube würde durch besagte Luftströmung eine rücktreibende Wirkung auf das Vordertheil des Rumpfes nach sich ziehen.

Der Nachtheil gegenüber der Anwendung blos einer Schraube bestände ausser der complizirten Anordnung in der Vergrösserung der Querschnittswiderstände Q und q' und in einer kleinen Gewichtsvermehrung

Die Lenkung in vertikaler Richtung würde wie beim lenkbaren Fallschirm (Seite 60) durch Vor- oder Zurückschieben der vordern tragenden Fläche, resp. ihres Angriffspunktes, vor sich gehen. Verschiedene Lenkungen sind später angegeben.

Ich habe einen besonderen Regulator construirt, welcher automatisch ein beständiges Verbleiben der Rumpfaxe in der gleichen Lage ermöglicht, so dass bei plötzlichen Windstössen oder Neigungsänderungen des Windes kein Umkippen oder eine Aenderung der Fahrrichtung in vertikalem Sinne zu befürchten wäre, auch wenn der Insasse schlafen sollte.

Die seitliche Lenkung wird, wie schon angeführt, durch schwache Verdrehung der hintern Fläche bewirkt, oder durch stärkeres Laufenlassen der einen oder andern Schraube oder durch ein vertikales Steuer, oder viertens, was das unvortheilhafteste wäre, durch Aufstellung eines hemmenden Flächenstückes auf der einen oder andern Seite. Fig. (112) zeigt das Kräftebild während dem Horizontalflug der Flugmaschine.

Was die Grösse der Schraubenflächen anbelangt, so richtet sich dieselbe nach der Grösse des Gesammtwiderstandes $(R_h + q + Q) = G \sin(\alpha + \beta)$.

Unter der Voraussetzung, dass diese nach dem gleichen Princip wie die tragenden Flächen gebauten Schraubenflächen eben so grosse Trag- resp. Zugfähigkeit äussern, wird ihre Gesammtgrösse ausgedrückt durch die aus dem Vorigen gefundene Formel:

$$f = \left(\frac{\sin(\alpha + \beta) \cdot (\cos\varsigma)^2}{\sin\varsigma} \right) F$$

worbei F die Grösse der tragenden Flächen bedeutet, und unter der Voraussetzung, dass die Tragfähigkeit nicht mehr als proportional mit der Flächenvergrösserung zunehme. Da aber dies wahrscheinlich in grösserm Masse geschieht, so müsste f noch entsprechend (für den speziellen Fall besonders zu berechnen) grösser gemacht werden.

Beträgt der Segelwinkel $(\alpha + \beta) = 4^0$, so ist $f = {}^1/_{20} F$.

Die Anzahl der Umdrehungen per Sekunde, wenn D die Distanz der Druckangriffspunkte beider Schaufeln ist, beträgt, da hier eine Ganghöhe gleich $\frac{\pi D}{tg \varsigma}$ und $\varsigma = 45^0$ ist: $U = \frac{V}{3{,}14 \cdot D}$

Wäre also die Fluggeschwindigkeit v gleich 20 Meter, $D = 2$ Meter, so müssten 3 Umdrehungen per Sekunde von den Schrauben gemacht werden und bei $v = 10$ Meter, $1^1/_2$ Umdrehungen.

Hätte man eine Flugmaschine gebaut, welche sammt dem Lenker 500 Klgr. wiegt, so würde, wenn ihr Segelwinkel $(\alpha + \beta)$ gleich 4^0 betrüge, (bei $v = 10$ Meter) ihre Flugarbeit (wenn die Schraube 90% Nutzeffekt liefert) $A = G \sin(\alpha + \beta) \,.\, [1 + {}^1/_{10}] \,.\, v = 500 \,.\, 0{,}07 \,.\, 1{,}1 . 10 = 5{,}1$ Pferdekräfte sein.

Die Grösse der tragenden Fläche müsste, da nach unsern Messungen (siehe VII) die Tragfähigkeit von 1 □mtr. bei 10 Meter Geschwindigkeit mindestens 8,2 Klgr. beträgt

$$F = \frac{500}{8} = 63 \square\text{mtr. sein.}$$

Würde man sich einen Vogel von diesem Gewicht und nach dem Gesetze auf Seite (4) gebaut denken, so würde seine Flügelflächengrösse blos 12□mtr. betragen. Seine Normalgeschwindigkeit müsste in diesem Falle nach dem, was über die Tragfähigkeit der Flächen in (V) und (VIII) mitgetheilt wurde, grösser als 10 Meter sein.

Bei der Annahme vergrösserter Tragfähigkeit (mehr als proportional der Flächenvergrösserung) und je nach Bedürfniss vergrösserter Normalgeschwindigkeit würde also die Flugflächengrösse zwischen 12 □mtr. und 63 □mtr. schwanken können. (Man sieht hier wieder wie wichtig es ist durch Versuche im Grossen bestimmte Werthe in dieser Richtung zu erhalten.)

Da wir beim Adler einen Segelwinkel von $2^0 40$ als Maximum annahmen und die Querschnitte bei Gewichtsvergrösserung und ähnlichen Formen, wie wir wissen, verhältnissmässig kleiner werden, so dürfen wir die Voraussetzung eines Segelwinkels von 4^0 als eine viel zu ungünstige, also auch die vorhin berechnete Arbeit von 5,1 Pferdekraft als eine viel zu grosse betrachten.*)

Dass die Flugmaschine in ihrer gleichzeitigen Eigenschaft als Luftsegelschiff die aufsteigenden Windströmungen zum Segeln und zur Erleichterung ihrer Arbeit benützen kann, liegt auf der Hand (siehe VI)

*) Die Arbeitsberechnung der Taube als Grundlage benützt (Seite 32) fand man dass, 3,3 Pfkr. genügen würden für eine Flugmaschine von diesem Gewichte. Es wurde dabei vorausgesetzt, dass nicht blos die Gewichtsvergrösserung, sondern auch die Flächenvergrösserungen 1600fache, also die Längenvergrösserungen 40 fache seien (Fig. 113) zeigt die Dimensionen eines solchen Luftschiffes. (Der Querschnitt desselben würde $(q + Q) = (3{,}2 \square m + 4{,}5 \square m) = 7{,}7 \square m$ betragen. Seine Rumpflänge 6 m.) Wenn nun aber die Tragfähigkeit gekrümmter Fläche mehr als proportional ihrer Vergrösserung wächst, diese also kleiner gemacht werden können (für die gleiche Geschwindigkeit) und der Querschnitt des Rumpfes auch noch verkleinert wird, so reduziert sich die Gesammtarbeit noch bedeutend da in dem Arbeitsausdruk $(R_h + q + Q)$ nur das R_h nicht aber mehr $(q + Q)$ um 1600mal grösser werden. Man könnte also bei einer Fluggeschwindigkeit von 10 Metern vielleicht mit 2 Pferdekräften auskommen oder mit noch weniger.

Welche von den 2 Gattungen (Fig. 114) den Vorzug verdienen würde, könnte nur die Praxis lehren. Die eine hat den Vorzng sicherer Stabilität, dafür den Nachtheil, dass sie etwas mehr Flugarbeit braucht, weil wegen der grossen Hinterfläche das q grösser wird und wegen dem Einfluss der durch die Vorderfläche verursachten Luftströmung nach abwärts (siehe VII).

Bei Rückvergleichen mit den ehemaligen Aeroplanen berechnete ich, unterstützt durch Versuche am Modell, dass erstere einen ungefähr 6 bis 8 mal grösseren Arbeitsaufwand für die gleiche Flugleistung nöthig haben.

Es ist hier nicht der Platz, eingehender in Details einzutreten, weil deren Construction dieselbe auf verschiedene Weise gelöst werden kann. Die wesentlichen Faktoren, an denen nichts geändert werden darf, sind berührt worden.

In Bezug auf den Motor gilt das früher bei Typus (b) schon Gesagte Auch hier hätte eine Anordnung, bei welcher der eigentliche Motor (Petroleum, Benzin oder Dampfmotor) nur zur Speisung eines Windkessels dienen, und von diesem aus die Schraubenbewegung in Scene gegesetzt würde, den Vortheil, dass man beständig einen Accumulator zur Verfügung hätte, der in Folge hoher Spannung momentan (z. B. bei der Auffahrt und Ankunft) grosse Leistungen verrichten könnte, während er bei Unthätigkeit der Schraube (während dem Niedergang oder während dem Segeln) durch den Motor gespeist würde. Man hätte stets eine Sicherheitsgarantie für Fälle, wo letzterer, als der complizirteste Theil des Ganzen, aus irgend einem Grunde versagen sollte. Erfahrungen in Bezug auf die in einfachster Form zur Anwendung kommenden Druckluftmotoren sind genügende vorhanden.

Wir erhalten eine dritte Gattung unseres Flugmaschinentypus, wenn wir die kleine hintere Fläche der zweiten Gattung ebenfalls weglassen (siehe Fig. 61 (4), der lenkbaren Fallschirme) und suchen, die horizontale Lenkung auf eine andere Weise zu bewerkstelligen. (2) bis 5), siehe unten).

Dass doch eine genügende Sicherung der Stabilität vorhanden ist, wenn der Schwerpunkt tief genug liegt,*) wissen wir von den Versuchen her, da diese einflächigen Fallapparate mit tiefliegendem Sehwerpunkt ebenfalls benützt wurden (VII), um nachzuweisen, dass der Druckangriffspunkt etwas vor der Mitte der gekrümmten Fläche sich befindet, sowie um den Segelwinkel des betreffenden Apparates zu bestimmen.**)

*) Der Albatross hat einen sehr tiefliegenden Rumpf und eine kleine Schwanzfläche, besitzt also am meissten Aehnlichkeit mit dieser Gattung.

**) Liegt der Schwerpunkt tief, so genügt, wie man sieht (Fig. 116), eine kleine Neigungsänderung des Aparates, verursacht durch eine Störung des Gleichgewichts der Kräftepaare, um sofort dieses Gleichgewicht wieder herzustellen. Liegt aber der Schwerpunkt nicht tief, so muss die Neigungsänderung eine grosse sein, bis wieder ein Gleichgewichtszustand vorhanden wäre. Die Fläche resp. der Apparat wird vorher umkippen in Folge des nun auf die Rückseite wirkenden Luftdrucks.

Der Flugmaschinentypus (siehe Fig. 95), welchen ich mir seinerzeit als Modell construirte, war ebenfalls ein einflächiger mit genügend tief liegendem Schwerpunkt.

Bei dieser dritten Gattung wird die Widerstandsgrösse q natürlich am kleinsten ausfallen und dafür Q wachsen wegen den in Folge der tiefen Lage des Rumpfes längern Verbindungsstücken. (Man darf die beiden Trag flächen als eine betrachten, da sie aus dem in VII angeführten Grunde getrennt wurden.)

Verwendet man nur eine vor dem Rumpf liegende Schraube, so würde die seitliche Steuerung, wenn man keine steuernde Hinterfläche (bei der Flugmaschine des Titelblattes ist sie angebracht) benützen will, am besten durch (5) ausgeführt werden. Ebenso dürfte die Schraube nicht ganz in der Mitte sein, damit ihr Drehmoment nicht beständig eine seitliche Gesammtneigung des Ganzen verursacht. Soll sie aus Constructionsrücksichten in der Mitte des Rumpfes bleiben, so muss der linke oder rechte (je nach der Drehrichtung der Schraube) Theil der Tragfläche etwas grösser gemacht werden.

Verschiedene Möglichkeiten, die Lenkungen in horizontalem und vertikalem Sinne zu vollziehen:

I. Horizontale Lenkung (seitliche):

1) Durch eine besondere hintere kleinere oder grössere um die kleine Achse drehbare Fläche (welche zugleich tragend wirkt und zur Stabilitätssicherung beiträgt.
2) Durch verschiedene Wirksamkeit der zwei Schrauben, oder bei Anwendung blos einer Schraube durch Richtungsänderung ihrer Axe.
3) Durch gegenseitige seitliche Verschiebung des Rumpfes und der Tragflächen*) (constructiv ungünstig).
4) Durch stärkeres Abwärtsneigen der einen oder andern vorderen Fläche**) (constructiv ungünstig).
5) Durch seitliches Aufstellen einer hemmenden Fläche***), oder Anbringen einer senkrechten Steuerfläche hinten am Rumpf.

II. Verticale Lenkung (Steigung):****)

---

*) Bei den Vögeln durch etwas Einziehen des einen oder andern Flügels.

**) In Verbindung mit 3), jedenfalls die bei den Vögeln gebräuchlichste Lenkungsart. Der stärker nach abwärts geneigte Flügel bildet den hemmenden Theil.

***) Bei den Vögeln die sog. Lenkfeder.

****) Die Fluggeschwindigkeit bleibt die Normale, hingegen die Schraube muss sich rascher drehen, um den der Steigung entsprechend vergrösserten Zug auszuüben, sie arbeitet nun mit geringerem Nutzeffekt; um dies zu vermeiden müsste ihre Fläche vergrössert werden bei gleich bleibender Umdrehungsgeschwindigkeit; da letzteres wieder grosse constructive Schwierigkeiten bieten würde, so müsste man die Schraubenflächen verstellbar machen, so dass bei Steigungen die Umfangsgeschwindigkeit grösser und die Ganghöhe kleiner würde (Fig. 106,c.).

1) Durch Verschieben des Schwerpunktes vor oder zurück (z. B. durch Platzveränderung des Rumpfinhaltes), je nachdem die Schraube unter oder oberhalb desselben liegt.
2) Durch Verschieben der tragenden Fläche vor oder rückwärts, je nachdem die Schraube ober oder unterhalb des Schwerpunktes liegt.
3) Blos durch schnelleres Laufenlassen der Schraube, wenn ihre Lage so verändert wird, dass ihre Achse gerade durch den Schwerpunkt des Ganzen geht.
4) Durch senkrechtes Aufwärtsbewegen des Rumpfes sammt den Schrauben.

Nach meiner Ansicht sind in diesen Angaben alle Möglichkeiten der Lenkung enthalten. Das Sinken erfolgt beim Nachlassen der Schraubenthätigkeit. Verschiedene Neigungen des Sinkens (Segelwinkel bis zum senkrechten Fall) werden durch ähnliche Manipulationen bewirkt.

Am einfachsten sieht die dritte Gattung aus (etwas einfacheres lässt sich in Bezug auf Construction überhaupt gar nicht mehr denken), wenn eine Schraube verwendet wird und dieselbe im Falle (II 3) sich befände, oder (etwas complizirter) die verticale Lenkung nach (II 1) vor sich ginge. Es sind hier die tragenden Flächen in fester (nicht in horizontal verschiebbarer) Verbindung mit dem Flugkörper. Die seitliche Lenkung könnte nach (I 5) oder nach (I 2) vor sich gehen.

Figur (117) zeigt diese Gattung mit einer Schraube, Figur (118) dieselbe mit zwei Schrauben. Die Vortheile und Nachtheile der einen gegenüber der andern sind früher behandelt worden.

Fände Fall (II 3) nicht statt und wollte man nicht durch Platzveränderung des Inhaltes des Flugkörpers resp. durch Schwerpunktsveränderung die Lenkung bewirken, so müsste die tragende Fläche in horizontal verschiebbarer Weise (auf Rollen) mit dem Rumpf verbunden sein (siehe II 2), welche Verbindungsweise auch die Lenkungsmanipulationen ermöglicht beim „Segeln" und „Fallen" der Flugmaschine, bei Unthätigkeit der Schraube.

Neben der Lenkung drängt sich noch die Frage nach der Orientirung auf:

„Ist der Compass ein genügendes Mittel zur Orientirung in den Luftregionen, wenn Wolken die Sterne und den Erdboden unsichtbar machen?" Für gewöhnliche Ballon hilft er aus guten Gründen gar nichts. Jeder wird dies leicht bei einiger Ueberlegung herausfinden.

Beim lenkbaren Ballon oder bei der Flugmaschine wird er nur theilweise Aufschluss geben über die Fahrrichtung, in welcher man sich befindet, weil eben, wenn Wind herrscht, die Compassnadel zur Fahrrichtung meistens einen andern Winkel bilden wird als zur Rumpfachse, und der Lenker des Fahrzeugs keinen Begriff kaben kann von der Richtung und

Stärke des Windes, der Geschwindigkeit der Luftschichte, in welcher er sich befindet. Seine Richtungsänderungen beziehen sich nur auf letztere, so lange weder die Erde noch die Gestirne sichtbar sind (Siehe Fig. 119)

Ob und in welcher Weise auch für diesen Fall eine vollständige Orientirung erreicht werden kann, dies ist vorläufig noch eine offene Frage.

Eine Flugmaschine von bestimmter Belastung und Tragflächengrösse wird stets die gleiche Fluggeschwindigkeit (die Normalgeschwindigkeit) haben. Soll sie fähig sein, die Geschwindigkeit zu variren, so müssen ihre Flächen verkleinert oder vergrössert werden können. (Durch übereinanderschieben.) Sie kann allerdings eine kleinere Geschwindigkeit erzielen durch Neigen der Flächen, muss aber dabei eine grössere Sekundenarbeit leisten (Fig. 120).

Eine grössere Geschwindigkeit muss sie annehmen, bei Beibehaltung der übrigen Verhältnisse, wenn ihre Belastung zunimmt. Die Sekunden-Arbeit des Motors und die Zahl der Umdrehungen der Schraube wird natürlich dabei vermehrt.

Für Geschwindigkeiten von 10—12 Meter wird man Krümmungsverhältnisse von $\frac{1}{12}$—$\frac{1}{15}$ verwenden. Für grössere Geschwindigkeiten soll dasselbe kleiner werden. (Siehe Seite 75.)

Die Arbeit der Flugmaschine ist durch die Formel:

$$A = [R_h + q + Q] . \left(1 + \frac{1}{X}\right) . v$$

ausgedrückt. Einen je kleineren Bruchtheil der Schwebewiderstand R_h vom Gesammtgewicht ausmacht, je kleiner der Querschnittswiderstand q der Tragflächen und derjenige Q des Rumpfes, je kleiner also ihre Querschnitte sind, je besser ihre Bauart und je geringer der Arbeitsverlust der Schraube ist, um so kleiner wird die Arbeit des Motors.

Ich wiederhole desshalb: Das Hauptaugenmerk bei künftigen Versuchen muss darauf gerichtet sein bestimmte kleinste Werthe von R_h zu ermitteln. (Nach unserer bisherigen Kenntnissnahme wissen wir blos, dass R_h unter keinen Umständen grösser als $G tg\, 3^0 = \frac{1}{20} G$ ist, hingegen möglicherweise blos $\frac{1}{100}$ G. und noch weniger betragen kann) und herauszufinden, welche Krümmungsverhältnisse der Flächen für verschiedene Geschwindigkeiten am besten taugen.

Ferner: Zu bestimmen, in welchem Verhältniss die Tragfähigkeit der Flächen zunimmt bei ihrer Vergrösserung, denn davon ist der Werth q abhängig. Je stärker sich diese vermehrt, um so kleinere Flächen können benützt werden, um so kleiner wird q. Die Grösse der jeweiligen Normalgeschwindigkeit der Flächen bei irgend einer bestimmten Belastung stellt sich natürlich dabei auch heraus; ebenso wird man erfahren ob eine breite oder längliche Form derselben vorzuziehen ist (siehe Taf. XII).

Ferner: Zu bestimmen, welche Rumpfform die beste ist, (welche das kleinste Q verursacht). Es wird jedenfalls nicht diejenige eines Rotationskörpers sein, sondern eher eine solche, wie sie Figur 121 zeigt, wobei der Luftwiderstand noch in tragendem Sinne ausgenützt wird. (Siehe Seite 22).

Dann herauszufinden, ob diese Querschnittswiderstände $(q + Q)$ mehr im quadratischen oder mehr im proportionalen Verhältniss zum Wachsen der Fluggeschwindigkeit zunehmen (siehe Seite 75) und wie gross die Reductionscoeffizienten für die besten Formen bezogen auf den Luftwiderstand des grössten senkrechten Querschnitts (bei dieser Geschwindigkeit) werden. Und endlich bei der denkbar besten Schrauben form die Grösse des Arbeitsverlustes der Schraube $\left(\frac{1}{X}\right.$. reine Flugarbeit) zu erfahren.

Erst wenn diesen weitern sieben Anforderungen vollständig Genüge geleistet wird, (mit Ausnahme der annähernden Bestimmung von Reductionscoeffizienten ist hierin bis jetzt ausser dem schon Angeführten noch wenig geschehen) kann an ein planmässiges Vorgehen in der Construction von Flugmaschinen gedacht werden. Der Zweck vorliegender Schrift soll eben darin bestehen, auf alle wesentlichen Hauptpunkte aufmerksam zu machen und zu solchen massgebenden Versuchen anzuregen.

Nachträglich will ich noch auf eine Combination des Typus (Fig. 95) mit demjenigen der durch die Fig. 117 und 118 repräsentirt ist, aufmerksam machen. Sie würde auf die in Fig. 122 angedeutete Weise die zur verticalen Lenkung nöthige Flächenverschiebung ausführen und wäre zugleich fähig vor Ankunft des Fahrzeuges auf dem Boden, durch Schlagbewegung zur Vermehrung des fallverzögernden Auftriebs beizutragen.

Es wird kaum nöthig sein, zu bemerken, dass bei der Auffahrt vom Boden der Apparat, durch die Schrauben in Bewegung versetzt, so lange auf seinen Rädern laufen wird bis die Geschwindigkeit einen Grad erreicht hat, der den Tragflächen genügende Stütze in der Luft verleiht (Figur 123). Der Flug der Maschine hat eine aufsteigende Richtung. (Diese Steigung wird nur wenige Prozente betragen, weil sonst eine zu grosse Beanspruchung des Motors erforderlich wäre) bis sie sich in hindernissfreiem Gebiet und in einer ihr zusagenden Luftströmung befindet.

Der Neigungswinkel, welchen die Krümmungssehnen der Tragflächen mit der Rumpfaxe zu bilden haben, ergibt sich aus den Fallversuchen und durch Ausprobieren an der jeweiligen Maschine selbst.



X. RÜCKBLICK UND SCHLUSS.

Rückblick — Geschwindigkeiten der Flugmasch ne — Vergleich mit dem lenkbaren Ballon — Auf- und niedergehende Treibfläche oder Schraube — Insektenflügel — Nutzen und Einfluss der Flugmaschine.



Halten wir noch einmal Umschau in dem von uns begangenen weiten Gebiete, um bei dieser Gelegenheit auf Einzelnes noch kräftiger hindeuten zu können.

Es wurden nach einem kurzen Hinblick auf Ergebnisse von frühern, zur Lösung des Flugproblems gemachten Experimenten und einem Nachweis, dass mit der Vergrösserung des Fliegers eine verhältnissmässige Verkleinerung der Flügeflächen zusammentreffe, diejenigen Theile des Vogelkörpers einlässlich behandelt, welche beim Flugprocess eine wichtige Rolle spielen. Nach einer vorläufigen Untersuchung dieses Processes selbst, folgte eine Betrachtung über „Schwebearbeit bei Stillstand" und „bei Vorwärtsbewegung" (Flug), eine annähernde Berechnung der Grösse, resp. Kleinheit der Flugarbeit eines Vogels, und die Erklärung der Ursache, warum bei Vorwärtsbewegung der Flugfläche die Schwebearbeit sich verkleinert. Aus der Betrachtung eines Theiles des Flugbildes und der nun erlangten Kenntniss der Wirkungsart der Flügel, ergab sich, dass die Linie (Drucklinie), welche den gesammten Druck von unten auf die Flügelfläche repräsentirt, beinahe senkrecht zur Flügelbahn stehen müsse. Diese letztere Einsicht bildet, wie wir im spätern Verlauf der Entwicklungen gesehen haben, einen Hauptpunkt der Flugfrage, denn von der Stellung dieser Drucklinie zur Bewegungsrichtung hängt die Grösse der Schwebearbeit ab. Stände sie senkrecht zu derselben, so wäre die Schwebearbeit gleich Null und es müsste vom Flieger bei seiner Reise nur der Querschnittswiderstand des Rumpfes und der Flügel überwunden werden, ähnlich wie jeder andere auf fester Unterlage und Rädern sich bewegende Körper den entstehenden Luftwiderstand zu bewältigen hat. Aus gewissen Gründen (S. 51) wurde anfänglich auch die durch den Querschnittswiderstand des Flügels verursachte Arbeit als zur Schwebearbeit gehörend aufgefasst.

Weiterhin wurde in die der Beobachtung und Ueberlegung entspringenden Annahme, dass die Tragfähigkeit der Flügelflächen mehr als pro-

portional zu ihrer Vergrösserung zunehme, näher eingetreten. Nach einer einleitenden Vergleichung zwischen lenkbarem Ballon und Flugmaschine findet das „Segeln" und „Kreisen" der Vögel seine Erklärung in der Wirkung der aufsteigenden Luftströmungen. Verschiedene Versuche und deren Deutung bilden nun den Uebergang vom Vogel zur Flugmaschine. Eine Hauptrolle spielt dabei eine Combination von frei nach abwärts und vorwärts fliegenden Flächen. Es wird darauf aufmerksam gemacht, welcher Unterschied besteht bei Verwendung von leicht, von vorn nach hinten, gekrümmten Flächen (ähnlich der Krümmung des Vogelflügels) und gleich grossen ebenen Flächen. Nach Berührung von bereits vorhandenen Messungsresultaten feststehender, dem Winde ausgesetzter krummen Flächen, sowie nach Angaben über die Tragfähigkeit von frei fallenden Flächen wird auf die Lenkungsmöglichkeit derselben in horizontaler und theilweise in verticaler Richtung hingewiesen, und in Folge dessen aus einem solchen Versuchsapparat mit leichter Mühe ein auch als Luftsegelschiff dienender lenkbarer Fallschirm gebildel, aus welchem später mit Hülfe vcn Schrauben eine eigentliche Flugmaschine hervorgeht.

Die Frage nach der Möglichkeit, ob der Mensch mit seiner eigenen Körperkraft das Fliegen erzwingen könne, wird nicht verneint, hingegen auf die dabei nöthige grosse Anstrengung hingewiesen, und betont, dass in dieser Hinsicht nur im „Segeln", diesem arbeitlosen Fliegen, grosse Erfolge zu erzielen wären. Auf die Anwendung des lenkbaren Fallschirmes folgt eine Aufmunterung zu Versuchen mit solchen Fallapparaten von verschiedenen Dimensionen, vorzunehmen in grössern Räumlichkeiten. Im VIII. Kapitel wird gezeigt, dass es möglich sei, die Tragfähigkeit einer ebenen Fläche zu erhöhen, indem man sie krümmt und tangential der Bewegungsrichtung anschmiegt, wie dann durch Vorsetzen eines weitern Flächenstückes an diesen Luft comprimirenden Flächentheil der Luftverdichtung in vorschiebenden und tragenden Sinne ausgenützt werden kann, so dass eine grosse Steigerung der Tragfähigkeit erreicht wird und nun die Drucklinie beinahe senkrecht zur Bewegungsrichtung zu stehen kommt. Die bei den Versuchen ersichtliche Schwerpunktslage des benützten Fallapparates und die in Betrachtziehung des Neigungswinkels der Fläche zur Bewegungsrichtung, erlaubten diese Schlussnahme. Aus der mit Hülfe des Schwerpunktes gefundenen Lage des Druckangriffpunktes zeigte sich, dass dieser Neigungswinkel etwas grösser sein muss, als der sog. eigentliche Schwebewinkel (der Winkel, welchen die Drucklinie mit der Bewegungsrichtung bildet (S. 73) abzüglich eines rechten Winkels. Vom Apparat wird beim freien Fall von selbst der Günstigste gewählt und kann er bei dieser Gelegenheit geschätzt werden. Ich fand, dass derselbe bei flachern Krümmungen etwas kleiner sein muss als bei stärkerer Concavität. Nachdem nun auch durch Versuche diese wichtigste Thatsache nachgewiesen wurde, dass eine genügend grosse Drucklinie fast senkrecht zur Bewegungsrichtung stehend

erzeugt werden könne und zwar mit Anwendung verhältnissmässig kleiner Flächen und geringer Geschwindigkeit,*) konnte man sehen, dass die gleiche, anfänglich rein auf dem Wege der Ueberlegung dem Flugbilde entnommene Voraussetzung richtig war. — In der Grösse der Horizontalprojection Rh = G tg ($\bar{\omega} - 90^0$) dieser Drucklinie auf die Bewegungsrichtung war ein Faktor der Schwebearbeit, welche als ein Produkt dieser Grösse und der Geschwindigkeit der Fläche betrachtet werden muss, gefunden. Da Winkel ω wenig mehr als ein Rechter ist, ersieht man, dass dieser Faktor, als kleiner Bruchtheil des Gesammtgewichts eines Fliegers, ganz gut mit der rollenden Reibung eines gleichschweren, auf fester Unterlage sich bewegenden Körpers verglichen werden kann. Im weitern Verlaufe wurde die beste Form einer tragenden Fläche angegeben, nachzuweisen gesucht, warum flache Krümmungen eher für grosse, starke Krümmungen für kleinere Geschwindigkeiten sich eignen, und der Vortheil gezeigt, welchen eine Verdickung des Vorderrandes der Fläche mit sich bringt. (Aufhebung eines auf dem Vordertheil nach abwärts wirkenden Druckes.)

Ferner wurde betont: In wiefern der sog. Querschnittswiderstand in einer von der bisher meistens üblichen abweichenden Weise aufgefasst werden solle in Folge einer theilweise, bei einem richtig geformten Körper, wieder hinten stattfindenden Druckabgabe und desswegen, weil die direkt an der Oberfläche stattfindende und die indirekt dadurch hervorgerufene innere Luftreibung mit in Betracht zu ziehen sei.

Einige einfache ärodynamische Versuche unterstützten das Bemühen, eine klare Einsicht in Unsichtbares, in das Verhalten der die Flugflächen und den Flugkörper umgebenden Luft zu bekommen.

Das IX. Capitel geht nun, auf dem bisher Verarbeiteten gründend, vollständig in den Bereich der Flugmaschine über.

Zuerst werden verschiedene Typen einer kurzen Prüfung unterzogen. Bei Gelegenheit der Untersuchung desjenigen Typus, welcher sich in seinem Bau direkt an den Vogel anschliesst, wurde das im 2. Capitel nur schematisch angedeutete Flugbild vollständig ausgeführt und dann speciell die mechanische Funktion der L u f t s ä c k e erörtert. Auf Grund der Anschauung, dass die Natur stets Mittel und Wege finde, in vollkommendster Weise einen Organismus in Bezug auf Form und Thätigkeit der ihm zukommenden Aufgabe anzupassen und in Folge des Einblicks in die während dem Fliegen nothwendige Kräftevertheilung, mussten wir annehmen, dass diese Luftsäcke neben ihrer Eigenschaft als Trabanten der Lunge auch noch im Flugmechanismus und beim Segeln eine Rolle zu spielen haben.

*) Zur Erreichung des gleichen Zweckes [Lage der Drucklinie] hätte man bei Anwendung ebener Flächen dieselben sehr gross machen und mit viel grösserer Geschwindigkeit durch die Luft führen müssen, was wieder die Ursache bedeutenden Querschnittwiderstandes geworden wäre.

Der Typus Aeroplane wurde als arbeitverschwendende Form eines Flugfahrzeuges verworfen und statt dessen die bereits angeführte Combination des lenkbaren Fallschirms mit Schrauben gewählt. Eine eingehendere Beurtheilung der letztern zeigte, dass sie bei der an Ort und Stelle beschriebenen Bauart mit sehr wenig Verlust arbeiten. Tafel XIV enthält die Zeichnung nach einem Modell, welches mit Anwendung einer sehr geringen treibenden Kraft fliegt und damit auch die praktische Berechtigung einer solchen Zusammenstellung documentirt. *) Als geeigneter Motor für längere Flugreisen wird ein Benzin- oder Petroleummotor vorgeschlagen und die Einschaltung eines Windkessels als beinahe unumgänglich nothwendig empfohlen. (Für aussergewöhnliche Beanspruchung des Motors bei Steigungen der Flugbahn.)

Einem frühern Beispiel entnehmen wir, dass für eine kleinere Flugmaschine das Gewicht des Motors bis auf 30—40 Klgr. pro Pfdkr. sich belaufen dürfte, für eine grössere natürlich bis auf eine noch höhere Grenze. Das gebräuchliche feindliche Argument, man sei noch nicht im Stande, Motoren von genügender Leichtigkeit zu bauen, ist also hinfällig. Was das mitzuführende Material anbelangt, würde eine Flugmaschine, deren Betrieb 5 Pfdkr. beansprucht, für eine 24stündige Reise blos etwa 100 bis 140 Klgr. Petroleum (vergl. Seite 32) mitzuführen haben, bei der ungünstigsten Voraussetzung, dass während der Fahrt nie eine Segelmöglichkeit vorhanden sei.

Im Weitern werden einige verschiedene Gattungen von solchen Flugmaschinen ins Auge gefasst, von welchen die eine als grossflächige mehr für längere arbeitsparende Flugreisen geeignet wäre, während die andere mit kleiner Tragfläche, stärkerm Motor und möglichst reduzirtem Rumpfquerschnitt, für kürzere aber mit grosser Schnelligkeit auszuführende Touren den Vorzug verdient. Erstere könnte sich des „Segelns“ in vortheilhafter Weise bedienen, während letztere nöthigenfalls einen Sturmwind von 15—20 m Geschwindigkeit nicht zu fürchten hätte.

In Bezug auf die Lenkung werden alle Möglichkeiten ventilirt und dabei auf die Einfachheit der Construction einer solchen Flugmaschine in einem speciellen Fall hingewiesen und ferner bemerkt, dass jede Flugmaschine eine constante Eigengeschwindigkeit haben muss. Es folgt ein annähernder Aufschluss über die Frage nach der Orientirung bei

*) Ich will hier bemerken, dass ein solches Modell, welches in Folge seiner geringen Flächenbelastung auch eine kleine Geschwindigkeit hat, deswegen auch nicht im Freien probiert werden kann, da die geringste Windströmmung störend auf dasselbe einwirkt. Je grösser hingegen ein Modell gemacht wird, um so kleiner wird verhältnissmässig sein Querschnitt und seine Tragfläche, um so grösser seine Geschwindigkeit, um so weniger hat der Wind Einfluss, und um so wirkungsfähiger wird sein Motor, auch wenn dessen Gewicht den gleichen Bruchtheil des Gesammtgewichtes ausmacht. (Ein Motor der x mal schwerer ist als ein anderer, ist um mehr als x mal leistungsfähiger. Man darf einen in der Praxis funktionierenden Apparat nur in seltenen Fällen als ein direktes Multiplum eines kleinen Modells auffassen.

Fahrten inmitten von Wolken und zuletzt werden die Hauptpunkte, welche eventuellen Constructionen von solchen Luftschiffen zu Grunde liegen müssen, noch einmal hervorgehoben, besonders die Wichtigkeit einer annähernd richtigen Bestimmung des Schwebecoeffizienten $\frac{Rh}{R}$ (siehe Seite 73) sowie der Tragfähigkeit von sehr grossen Flächen und dann folgt noch die kurze Beschreibung einer Abfahrt und einer Zusammenstellung eines Apparates mit beweglicher Tragfläche und einer Zugschraube.

Will ein Luftschiff über der gleichen Stelle eine grosse Höhe gewinnen, so muss es in einer Spirallinie von geringer Ganghöhe aufwärts steigen.

Ich will hier einige Bemerkungen über die von Flugmaschinen zu erreichenden Geschwindigkeiten*) anfügen. Sie sind das Resultat von approximativen Berechnungen (genaue Angaben in dieser Hinsicht werden erst möglich sein, wenn über Ergebnisse der empfohlenen bezüglichen Versuche verfügt werden kann) und zeigen, dass, je grösser ein solches Luftschiff gebaut wird, umso geringer das Arbeitserforderniss ist pro Gewichtseinheit, weil die Querschnittswiderstände mit der Vergrösserung verhältnissmässig abnehmen. Ferner, dass eine Luftreise von einem Ort zum Andern umso weniger Arbeit, resp. Material benöthigt, je langsamer sie von statten geht. [Windstille vorausgesetzt; die Langsamkeit, hat natürlich ihre Grenzen, wegen der Vergrösserung der Tragfläche.]

Die Vergleiche mit dem lenkbaren Ballon ergeben, dass letzterer nur bei Dimensionen, welche die bisherigen weit übersteigen, und bei geringer Geschwindigkeit mit der Flugmaschine concurriren könnte, hingegen bei Schnelligkeiten von 15 m und mehr über eine weit grössere Arbeitskraft disponiren müsste.

Die Frage, ob man nicht besser vogelflügelartig abwechslungsweise niederschlagende Flächen zum Vorwärtstreiben anstatt Schrauben verwendet ist eine müssige. Wer das Bisherige aufmerksam verfolgt hat, ist leicht

---

*) Kleine Luftschiffe (500—1000 Klgr. schwer) können eine Geschwindigkeit von 20 Meter (72 Km. pr. Std.) ohne ausserordentliche Anforderung an die Motorstärke nicht übersteigen, währenddem grosse (100.000 Klgr., siehe Fig. 124) sich noch eine solche von 30 Meter erlauben dürfen. Der Arbeitsaufwand der letztern würde sich dabei innert den Grenzen von 500 bis 1200 Pfdkr. bewegen, derjenige der Kleinen bei einer Geschwindigkeit von 20 Meter zwischen $3^1/_2$ und 7 Pfdkr.; der Rumpfquerschnitt 1 □m ist dabei auf ein Minimum reduzirt (siehe Fig. 121).

Ein lenkbarer Ballon von obiger Tragkraft (Fig. 121) müsste bei einer Geschwindigkeit von 30 Meter schon über 2800—5400 Pfdkr. verfügen können, während derselbe bei blos 10 Meter Schnelligkeit mit 200 Pfdkr. auskommen würde. Das Arbeitserforderniss der grossen Flugmaschine würde bei letzterer Geschwindigkeit zwischen 160 und 300 Pfdkr. schwanken, dasjenige der Kleinen zwischen 2 und 3 Pfdkr. Die Schwebearbeit (Rh. v) ist bei der grossen Flugmaschine grösser als die Querschnittsarbeit, bei der Kleinen ist letztere grösser, bei einer Geschwindigkeit von 10 Meter hingegen noch erstere.

zur Erkenntniss gekommen, dass unsere Flugmaschine nur eine Platz- und Grössenveränderung der Flugwerkzeugstheile des Vogels vornahm.

Beim Vogel ist der innere, hauptsächlich tragende Flügeltheil auf und abwärts beweglich, weil dies eine im Organismus liegende Bedingung ist. (Der Vogel während der Ruhe seine Flügel wieder zusammenfalten will etc.) Wir sahen, dass der dadurch mögliche Nachtheil durch ein entsprechendes Zwischenglied (Luftsäcke) wieder aufgehoben wird.

Ist der äussere tragende und vortreibende Flügeltheil etwas anderes als ein Stück einer Schraubenfläche, deren Bewegungsbahn ein Theil einer Schraubenlinie von sehr grosser Ganghöhe ist und dessen Luftdruck eine kleinere vorschiebende und eine grosse tragende Wirkung ausübt? Statt einen Theil der Tragfläche gleichzeitig zum vortreiben zu benützen, bringen wir aus constructiven Rücksichten eine besondere treibende Fläche in doppelter Anordnung an, die auch einer Schraubenlinie, aber einer solchen mit kleiner Ganghöhe, folgt und zwar in continuirlichem Laufe statt in wechselndem. Der Nachtheil dieser Anordnung besteht darin, dass die tragenden Componenten der jeweiligen Drucklinien sich gegenseitig aufheben, d. h. der vortreibende Flächentheil bewegt sich hier widerstanderzeugend durch die Luft, ohne zum Tragen mitzuhelfen, während dies für ihn bei der Vogelflügelartigen Anordnung der Fall ist.

Da die Ganghöhe dieser Schraubenlinie klein ist, also der grösste Theil des Luftdruckes auf die treibenden Flächen zum Vorschieben ausgenützt wird, so brauchen letztere nicht gross zu sein, darum ist der Arbeitsverlust durch den von ihr erzeugten Schwebe- und Querschnittswiderstand ein so geringer, dass wir ihn nicht höher schätzten als denjenigen, welcher der Bewegungsart einer ihren Lauf wechselnden, periodisch wirkenden Treibfläche entspringt. (Seite 86.)

Ein Widerspruch zwischen einer in der Natur existirenden Thatsache und der Feststellung, dass kleine Flächenbelastungen nur geringe Geschwindigkeiten zulassen, ist noch zu lösen.

Die Naturbeobachtung zeigt, dass auch Insekten (die Hummel, Wespe etc.) trotz ihren minimalen Flächenbelastungen (siehe Seite 4) und ihrem im Verhältniss zum Gewichte grossen Querschnitt bedeutende Geschwindigkeiten erreichen und dem Winde trotzen können. Auf welche Weise wird ihnen dies möglich?

Man betrachte ihre Flügelform (Fig. 125) und berücksichtige die grosse Zahl ihrer Flügelschläge (nach Marey beträgt dieselbe bei einer Wespe etwa 100, bei einer Fliege 300 pr. Sek.), dann kann diese Frage sofort beantwortet werden.

Die Flügelform ist im Gegensatz zu derjenigen des Vogels innen schmal und aussen breit, hat in der Gesammterscheinung Aehnlichkeit mit einem unserer Schraubenflügel. Aus der Schlagzahl und der Fluggeschwindigkeit ergibt sich, dass dieser äussere grössere treibende Flügel-

theil auf einer viel steilern Bahn sich nach abwärts bewegt, sich viel stärker abdreht, als dies bei grössern Vögeln der Fall ist, also seine Gesammtwirkung mehr vortreibender als tragender Natur ist, dass er ähnlich wirkt wie ein Schrauben-Flügel, worin der Grund liegt, warum Insekten sich noch mit beträchtlicherer Geschwindigkeit bewegen können, aber allerdings auch mit viel grösserm Arbeitsaufwand (pro Gewichtseinheit) als grosse Flieger. (Ihre Querschnittsarbeit übersteigt die Schwebearbeit noch in vermehrtem Masse). In ähnlicher Weise erreichen kleine Vögel durch starkes Abdrehen der Flügelfläche bei rascher Schlagfolge grosse Geschwindigkeiten. (Schwalbe, Falke etc.)

Bei jedem Ding frägt man nach seinem Nutzen. Eine solche Frage müsste die Flugmaschine auch über sich ergehen lassen, wenn sie, allen vorausgesetzten Anforderungen entsprechend, vor uns stände.

Im continentalen Verkehr dürfte sie anfänglich als Lastfahrzeug wahrscheinlich keine grosse Rolle spielen, weil zuerst noch eine Reihe technischer Erfahrungen betreffs Ankunft und Abfahrt gesammelt werden müssen, um entsprechende Landungstellen zu bauen, damit Waaren und Personen so unbeschädigt als möglich wieder Boden gewinnen können.

Dass aber solche Luftschiffe von geringern Dimensionen für Personenverkehr und für wissenschaftl. Zwecke von enormer Bedeutung wären, wird wohl Niemand abstreiten wollen. Anstatt bei der Erforschung des Luftmeeres ein Spielball seiner Willkür zu sein, würden wir dasselbe beherrschen und ihm seine Geheimnisse ablauschen. Seine Kräfte müssten uns dienstbar werden. Wir würden die Regelmässigen von seinen Windströmungen und besonders die Aufsteigenden derselben genau kennen lernen, sie als Fahrstrassen benützen, und zwar als solche, welche nicht blos stützende Unterlage verleihen, sondern auch als Kraftquelle die Fortbewegung vermitteln.

Bei einer Geschwindigkeit von 20 m pr. Sek. und Windstille wäre eine Umseglung der Erde innerhalb 24 Tagen möglich. Unternehmen wir diese Reise südlich vom Wendekreis des Krebses in der Richtung von Ost nach West, so wird der regelmässig wehende Nord-Ost-Passat die Fahrt um unsern Planeten noch bedeutend abkürzen.

Begeben wir uns aber in die Region der Calmen, in die beständig aufsteigenden warmen Luftströmungen am Aequator, so könnten wir, mit geringen Ausnahmen, die ganze Reise, ohne Arbeitsverbrauch, wenn auch vielleicht mit geringerer Geschwindigkeit, vollführen. Die aufsteigende Luft, in der beim Segeln beschriebenen Weise benützt, wäre unser Motor.

Wollte man in der West-Ost-Richtung diese Tour unternehmen, so würde man in die Höhe steigen und den obern Passat als hülfbereite Fahrstrasse beanspruchen.

„Romanstoff für Jules Verne", werden die Meisten denken. Auf die Gefahr hin, mitleidig belächelt zu werden, muss ich doch die feste Ueberzeugung aussprechen, dass solche scheinbar traumhafte Ziele durch be-

harrliches, mit Ringen nach Erkenntniss verbundenem Wollen erreicht werden können.

Was für eine Stelle würde die Flugmaschine im Kriege einnehmen? Dass die Führung desselben eine total veränderte Gestalt bekäme, liegt auf der Hand. Die Ueberschüttung feindlicher Körper, seien es Truppen oder befestigte Plätze, mit Sprengstoffen, würde in Bezug auf verheerende Wirkung jede Beschiessungsart weit übertreffen. Es müsste ein Kampf in der Luft entstehen, welcher sich nicht blos auf Flächen-, sondern auch auf Höhendimensionen erstreckte. Als Optimist erblicke ich in den verderblichen Fähigkeiten der Flugmaschine ein Gegengift des Krieges.

Das lenkbare Luftschiff könnte noch weitere Fortschritte in der Cultur herbeiführen. Ist der Bau von entsprechenden Ankunfts- und Abgangsstellen so weit gediehen, dass der Transport grosser Lasten möglich wird, dann hört jede Zollpolitik auf, der Freihandel wäre nothwendigerweise das Resultat dieser neuen Verkehrsverhältnisse. Es ist überflüssig, über das Warum noch erklärende Worte zu verlieren.

Mit einer kurzen Recapitulation des Gesammtinhaltes und mit dem Versuch, einige Blicke in die Zukunft zu werfen, ist die Aufgabe dieses letzten Capitels und damit diejenige der ganzen Schrift beendigt. Im Besondern auf verschiedene neue Gesichtspunkte hinzuweisen, die ich darin aufstellte, erachte ich für unnöthig. Der mit der Literatur dieses Gebietes vertraute Leser wird dieselben sofort erkennen. Irren ist menschlich und ich werde vielleicht in Bezug auf die eine oder andere, in dieser Arbeit vorkommende, mir unbedingt als richtig erscheinende und oft mühsam errungene Anschauung, eines Bessern belehrt werden. Hingegen müssten schon sehr schwerwiegende, durch Versuche bestätigte Gegengründe ins Feld geführt werden, um mich zu überzeugen, dass die durch Wort und Bild beschriebene Anordnung und Form der tragenden und treibenden Flächen an einem Flugkörper nicht diejenige sei, welche in der Praxis am meisten Aussicht auf Erfolg hätte.

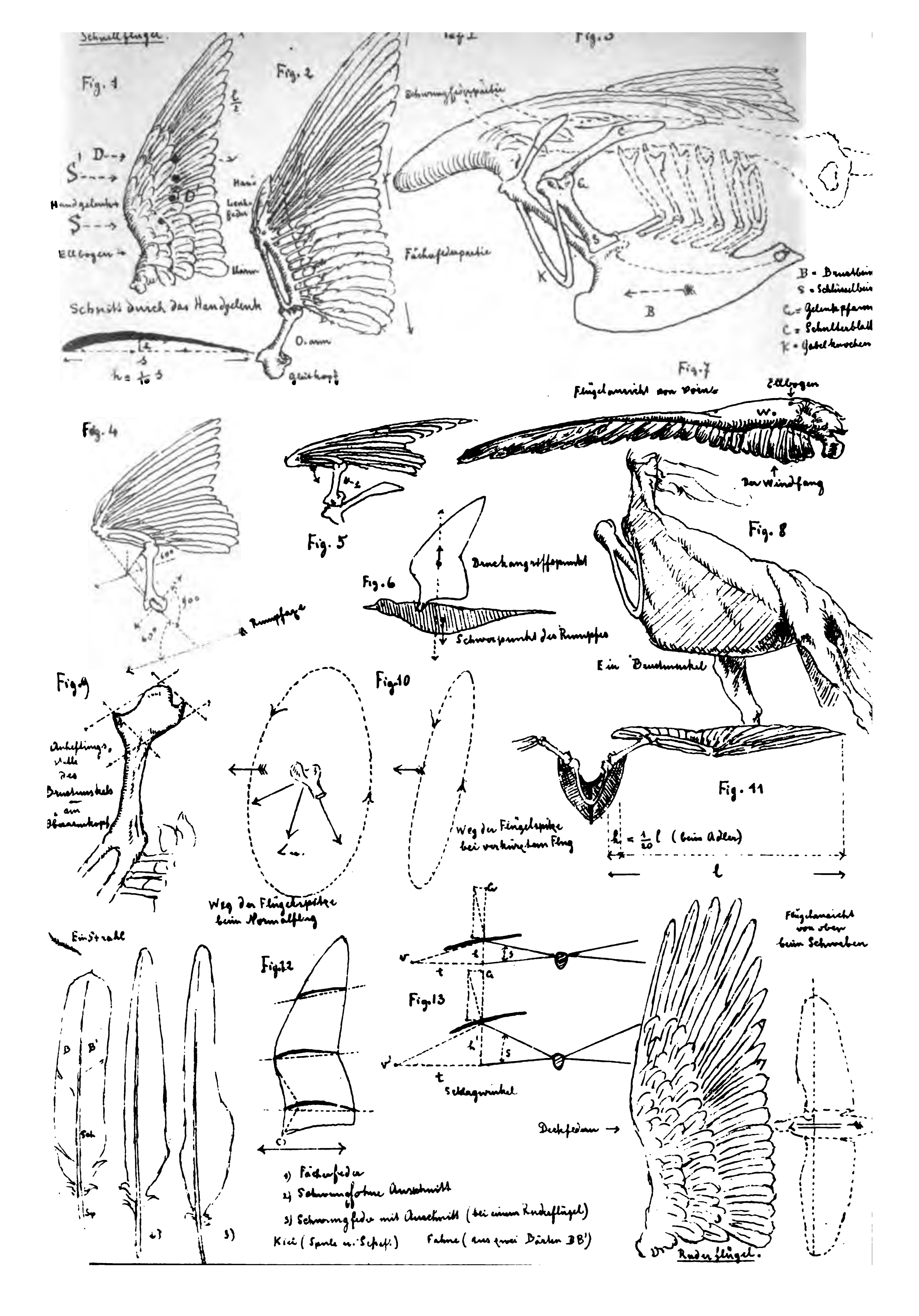
Die grösste Befriedigung wird es mir gewähren, wenn diese Zeilen Anregung geben, auf den bezeichneten, theilweise unbetretenen Pfaden dem Kern der Flugfrage (das ist hauptsächlich die Erkenntniss des Wesens und der Grösse der eigentlichen Schwebearbeit, sowie der Art der Mittel, durch welche dieselbe auf ein Minimum reduzirt werden kann.) noch näher zu kommen, wenn sie zur Ausfüllung der Kluft, welche uns noch von dem Reich der Luft trennt, etwas beigetragen haben.



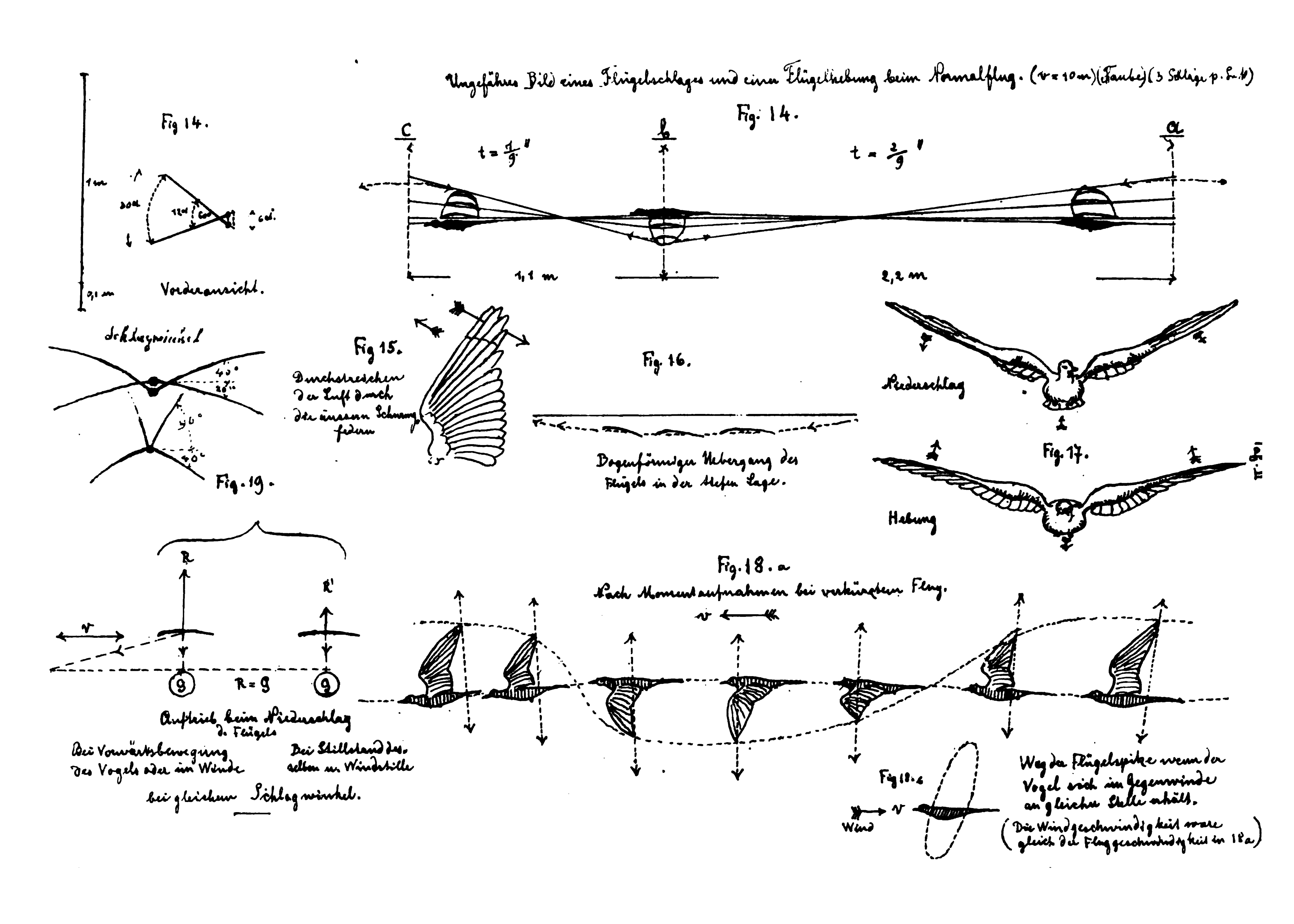
Druckfehler-Berichtigung.

(Die mit * bezeichneten sind sinnstörend.)

	Seite	Zeile		lies:	
	2	5	v. o.		Villeneuve statt Villenenve.
*	13	20	v. o.	„	2 $^2/_3$ a statt 2 $^2/_3$ A.
*	13	27	v. o.	„	Gewichtsvermehrung statt Geschwindigkeitsvermehrung.
*	15	16	v. o.	„	stumpfern statt stumpfen.
*	23	4	v. u.	„	$A = (G + Z) . (s + s')$ statt $A = (G + Z) = (s + s')$.
*	24	6	v. o.	„	$(G + Z).s'$ statt $(G + Z).s$.
	24	11	v. o.	„	lebendige statt lebende.
	25	10	v. o.	„	gestattete statt gestattet.
	26	16	v. o.	„	Aerodynamische statt dynamische.
	27	11	v. u.	„	nun statt um.
	29	4	v. u.	„	der statt die.
	30	1	v. o.	„	beschleunigende statt beschleunigte.
*	31	6	v. o.	„	Flugarbeit statt Schwebearbeit.
	30	25	v. o.	„	bis 32 v. o. Dass — — — wären. ist wegzulassen.
	32	19	v. o.	„	Einen Motor (Dampfmaschine) st. Eine Motordampfmasch.
	32	20	v. o.	„	Füllung an statt Füllungen.
*	34	20	v. u.	„	Fluggeschwindigkeit statt Flügelgeschwindigkeit.
	36	1	v. o.	„	Relative statt Realative.
*	36	1	v. o.	„	stumpfern statt stumpfen.
*	37	13	v. o.	„	9 statt g.
	39	8	v. o.	„	Widerspruch statt Wiederspruch.
*	41	11	v. u.	„	21mal statt 17mal.
	42	9	v. o.	„	für statt hier.
	42	17	v. u,	„	des Schwebewinkels statt der Schwebewinkel,
*	42	14	v. u.	„	welche den grössern Theil der st. welche beinahe die
*	44	12	v. o.	„	$(\gamma - 90^0 + \alpha)$ statt $(\gamma - 90^0 + \alpha)$ $(\gamma - 90^0)$.
*	44	14	v. o.	„	D. $\sin\alpha$ statt D. $\cos\alpha$.
*	47	1	v. u.	„	dünnen statt alumen.
*	52	2	v. u.	„	$A = (W + Q)\,v$ statt $A = (W - Q)\,v$.
*	62	23	v. o.	„	Last statt Luft.
	64	6	v. o.	„	einer statt eine.
*	66	13	v. u.	„	ac statt bc.
*	67	15	v. u.	„	ac statt ab.
	72	8	v. o.	„	auch statt nach.



Schnellflügel
Fig. 1
Handgelenk
Ellbogen
Schnitt durch das Handgelenk
Fig. 2
Fächerfederpartie
O. arm
Fig. 3
B = Brustbein
S = Schlüsselbein
G = Gelenkpfanne
C = Schulterblatt
K = Gabelknochen
Fig. 7
Flügelansicht von vorne
Ellbogen
Der Windfang
Fig. 4
Rumpflage
Fig. 5
Fig. 6
Druckangriffspunkt
Schwerpunkt des Rumpfes
Fig. 8
Ein Brustmuskel
Fig. 9
Anheftungsstelle des Brustmuskels am Oberarmkopf
Fig. 10
Weg der Flügelspitze bei verkürztem Flug
Weg der Flügelspitze beim Normalflug
Fig. 11
Ein Strahl
Fig. 12
Fig. 13
Schlagwinkel
Flügelansicht von oben beim Schweben
Deckfedern
Ruderflügel
1) Fächerfeder
2) Schwungfeder ohne Ausschnitt
3) Schwungfeder mit Ausschnitt (bei einem Ruderflügel)
Kiel (Spule u. Schaft)
Fahne (aus zwei Bärten BB')



Ungefähres Bild eines Flügelschlages und einer Flügelhebung beim Normalflug. (v = 10 m) (Taube) (3 Schläge p. Sek.)
Fig. 14.
c
b
a
t = 1/9"
t = 2/9"
1,1 m
2,2 m
Fig 14.
1 m
0,1 m
Vorderansicht.
Schlagwinkel
40°
20°
90°
40°
Fig. 19.
Fig 15.
Durchstreichen der Luft durch die äusseren Schwungfedern
Fig. 16.
Bogenförmiger Uebergang des Flügels in der tiefen Lage.
Niederschlag
Fig. 17.
Hebung
Taf. II
R
R'
v
g
R = g
Auftrieb beim Niederschlag d. Flügels
Bei Vorwärtsbewegung des Vogels oder im Winde
Bei Stillstand desselben in Windstille
bei gleichem Schlagwinkel.
Fig. 18. a
Nach Momentaufnahmen bei verkürzten Flug.
v
Fig 18. b
Wind
Weg der Flügelspitze wenn der Vogel sich im Gegenwinde an gleicher Stelle erhält.
(Die Windgeschwindigkeit wäre gleich der Fluggeschwindigkeit in 18a)

III.

Taf. II

Fig. 20.

s

Fig. 21

Fig. 22.

Fig. 23.

I

II

IV.

s + s'

Fig. 24.

F

O

s'

V

Fig. 25.

Wind

v

K

q

v'

v''

i

Fig. 26, 27.

Fig. 39.

Wind

v

h

M

Darstellung der Arbeitstheilung.

Schwebearbeit (Im Sinne von Seite 12 u. 33)	Aus der eigentlichen Schwebearbeit bestehend und der Arbeit zur Ueberwindung des Querschnittswiderstandes des Flügels
Gesamte Flugarbeit	Aus der Schwebearbeit und der zur Ueberwindung des Rumpfquerschnitt-widerstandes Q nöthigen Arbeit bestehend (letztere ist = g. v sin α)
u. Schwebearbeit im Sinne von (III) u. (VIII)	Die Unterstützungsarbeit (zu vergleichen mit der Reibungsarbeit eines rollenden Körpers.

Man nimmt an

$R = D = G$

R D

δ

γ

ω

q

β

η

h

v

$h . G = v . \sin \beta$

D D'

α

γ

q + Q

α

β

η

h'

v.

+ Q

$h' . G = v . \sin(\ldots$

R

ω

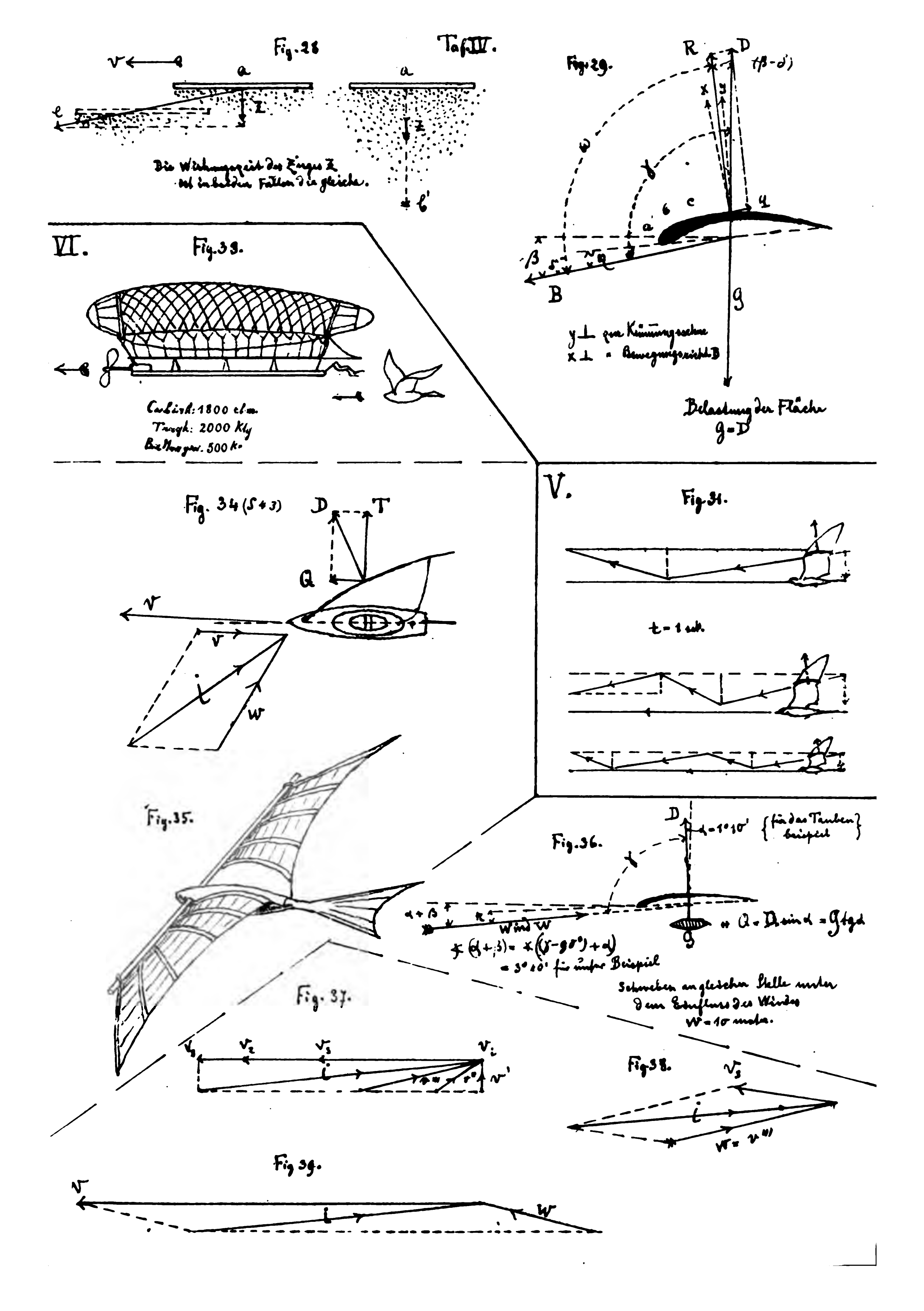
$h_0 . G = v . \sin \delta$

δ

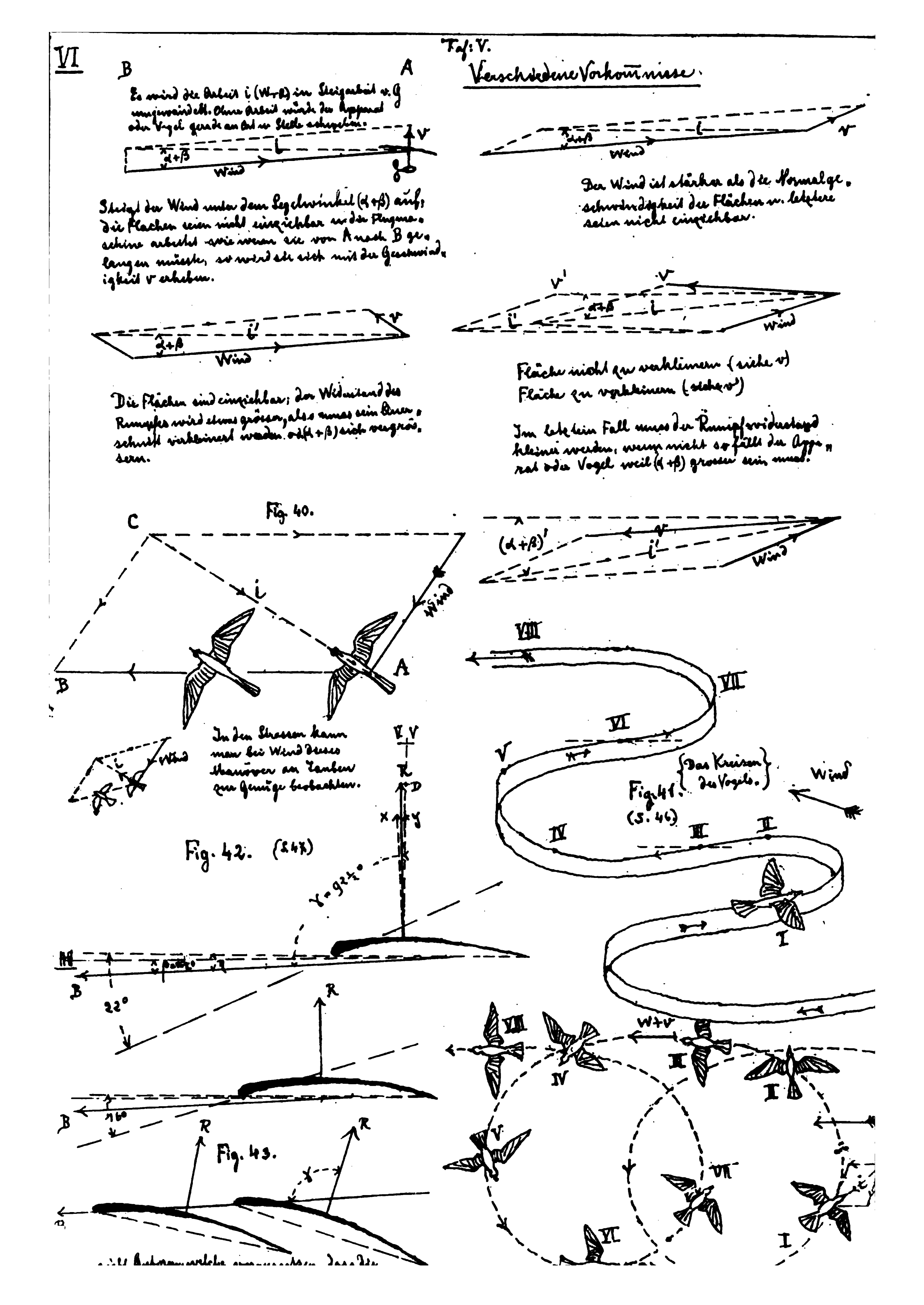
v

h_0

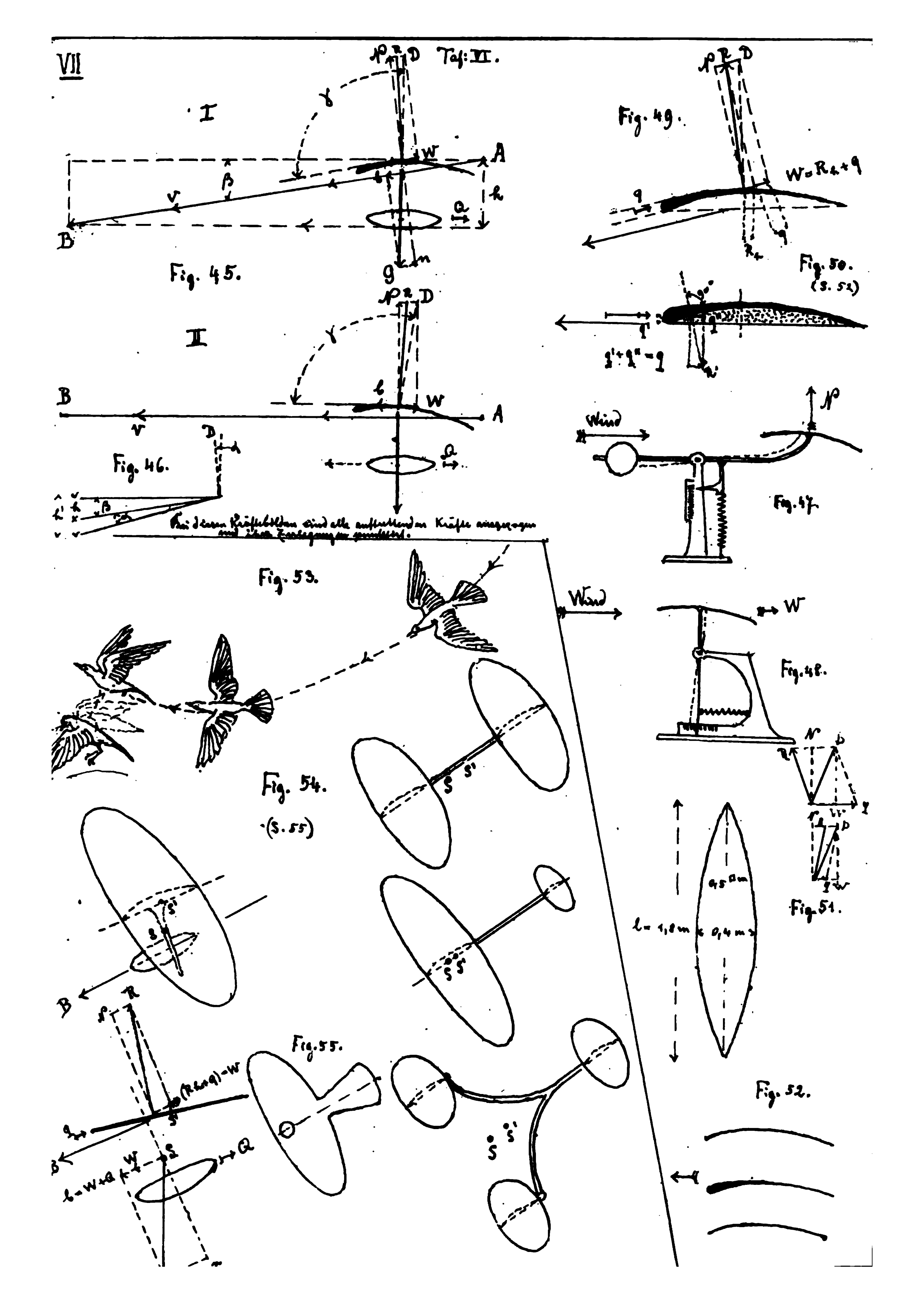
(bei ebenen Flächen ist $\delta = \varkappa$

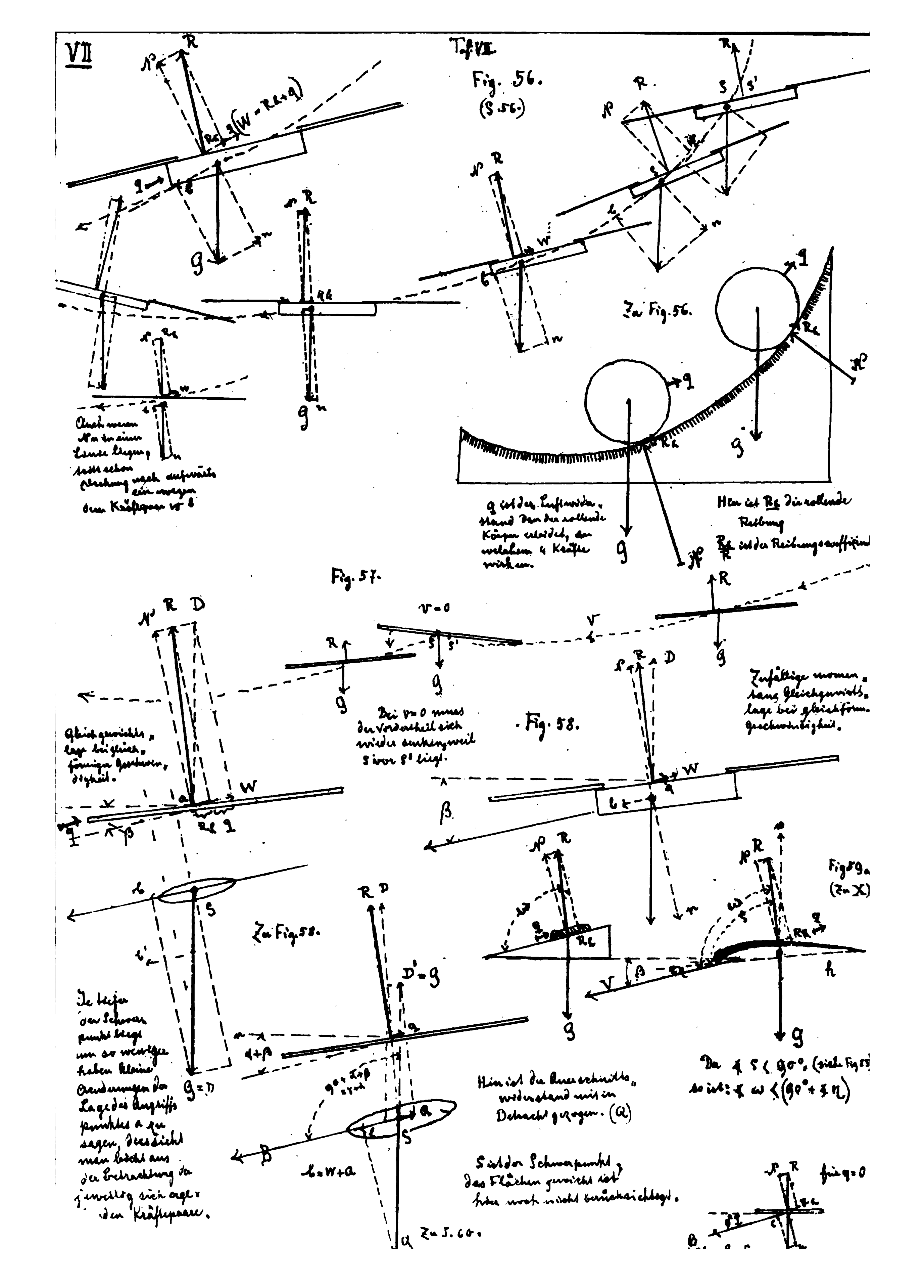


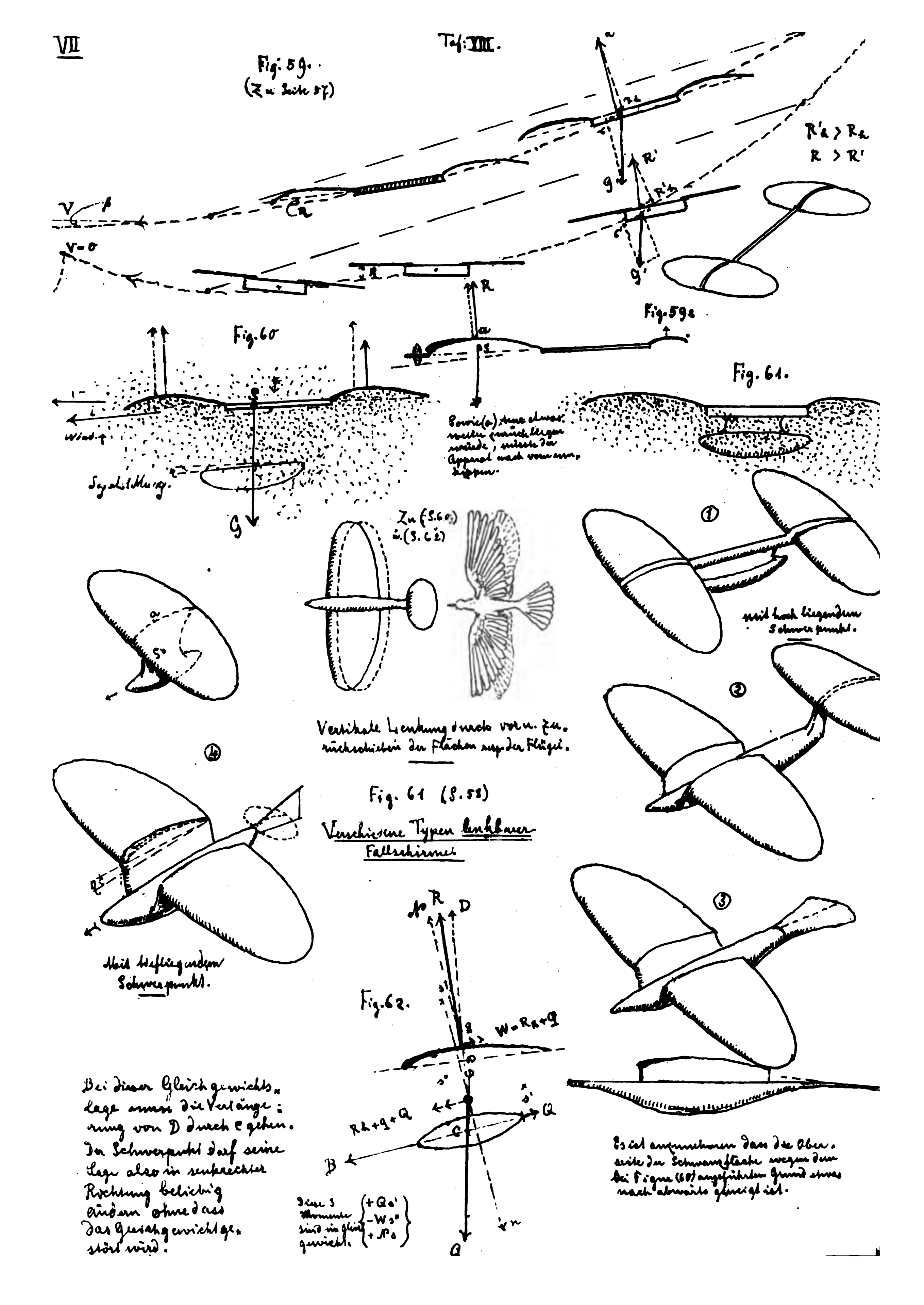
Taf. IV.
Fig. 28
Die Wirkungszeit des Zuges Z ist in beiden Fällen die gleiche.
Fig. 29.
y ⊥ zur Krümmungssehne
x ⊥ = Bewegungsricht. B
Belastung der Fläche
g = D
VI.
Fig. 33.
Tragk.: 2000 Kg
V.
Fig. 31.
t = 1 sek.
Fig. 34 (5+3)
Fig. 35.
Fig. 36.
α = 1°10'
{für das Tauben beispiel}
Wind W
= 3°10' für unser Beispiel
Schweben an gleicher Stelle unter dem Einfluss des Windes W = 10 m sek.
Fig. 37.
Fig. 38.
Fig. 39.



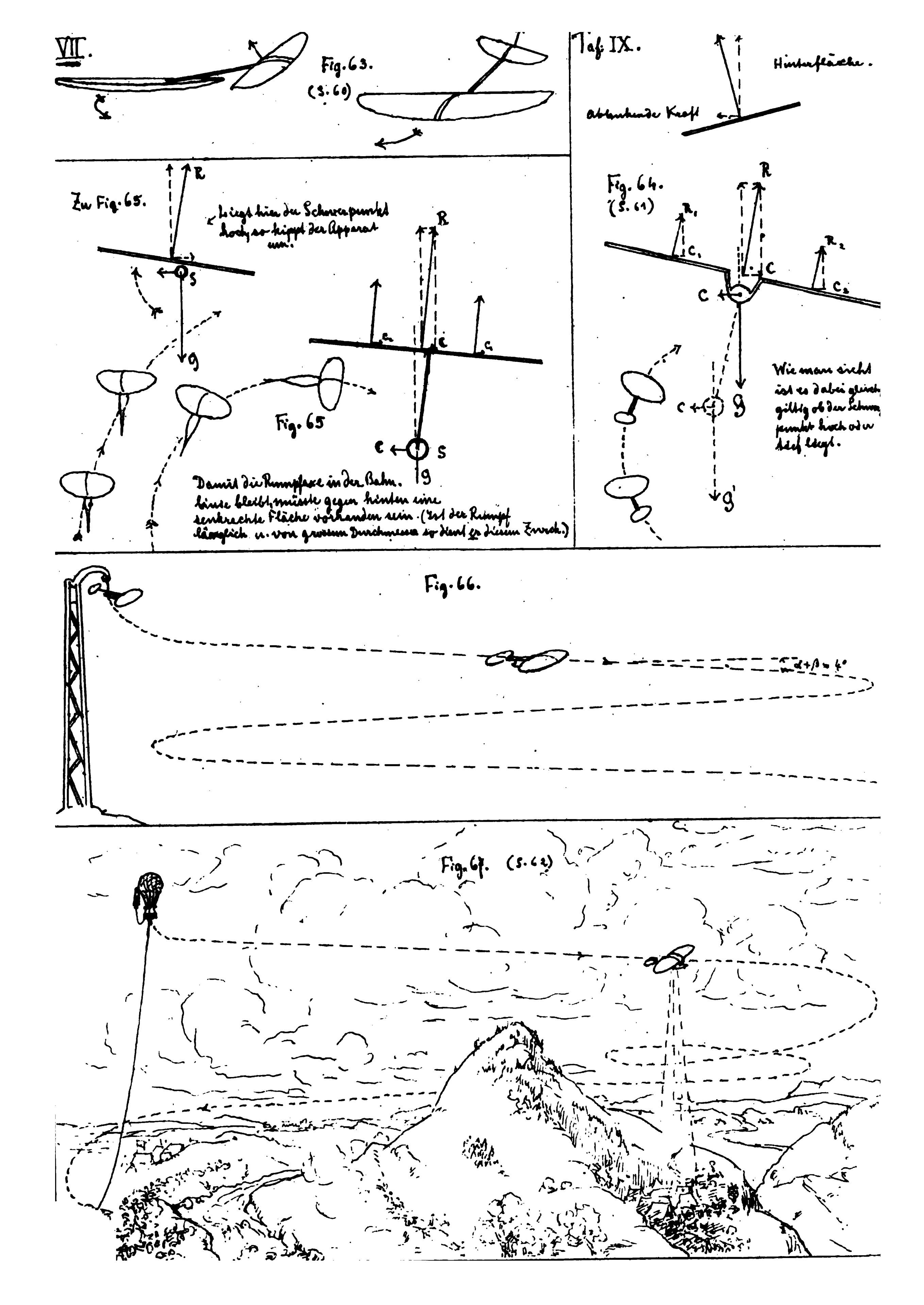
VI
Taf: V.
Verschiedene Vorkommnisse.
B
A
Es wird die Arbeit i (W+β) in Steigarbeit v. G umgewandelt. Ohne Arbeit würde der Apparat oder Vogel gerade an Ort u. Stelle schweben.
v
α+β
i
Wind
g
Steigt der Wind unter dem Segelwinkel (α+β) auf, die Flächen seien nicht einziehbar u. die Flugmaschine arbeitet wie wenn sie von A nach B gelangen müsste, so wird sie sich mit der Geschwindigkeit v erheben.
i'
Die Flächen sind einziehbar; der Widerstand des Rumpfes wird etwas grösser, also muss sein Querschnitt verkleinert werden od. (α+β) sich vergrössern.
Der Wind ist stärker als die Normalgeschwindigkeit der Flächen u. letztere seien nicht einziehbar.
v'
Fläche nicht zu verkleinern (siehe v)
Fläche zu verkleinern (siehe v')
Im letzteren Fall muss der Rumpfwiderstand kleiner werden, wenn nicht so fällt der Apparat oder Vogel weil (α+β) grösser sein muss.
Fig. 40.
C
(α+β)'
In den Strassen kann man bei Wind dieses Manöver an Tauben zur Genüge beobachten.
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
Fig. 41. {Das Kreisen des Vogels.} (S. 46)
Fig. 42. (S. 47)
22°
R
D
x
y
Fig. 43.
W+V


Taf: VI.
I
Fig. 45.
II
Fig. 46.
Bei diesen Kräftebildern sind alle auftretenden Kräfte eingezogen und deren Zerlegungen gezeichnet.
Fig. 49.
W = R₁ + q
Fig. 50.
(S. 52)
q' + q'' = q
Wind
Fig. 47.
Fig. 48.
Fig. 51.
Fig. 52.
Fig. 53.
Fig. 54.
(S. 55)
Fig. 55.
l = 1,8 m
0,4 m
0,5 m
(R₁+q) = W
l = W + Q

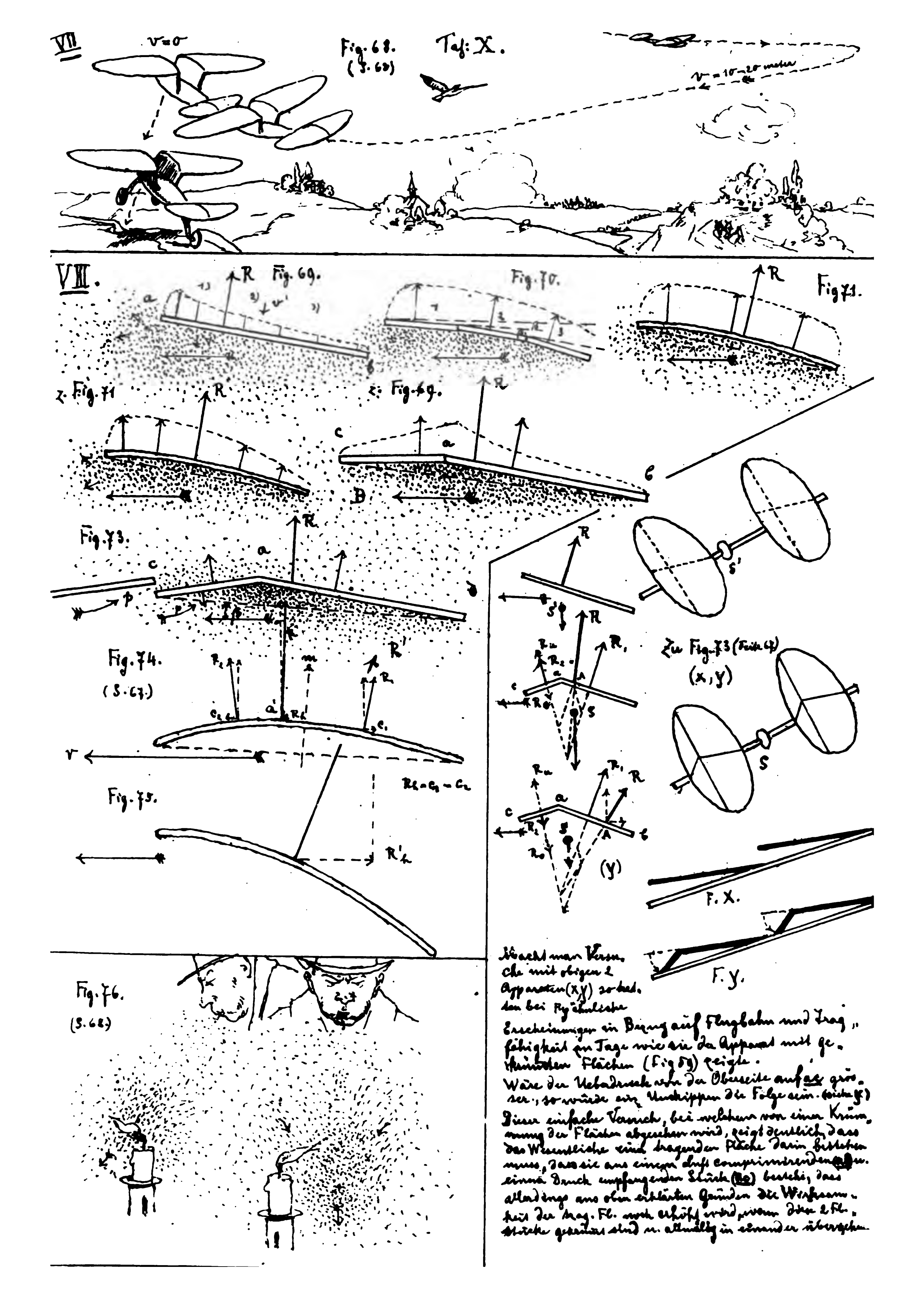

VII
Taf VII.
Fig. 56.
(S. 56.)
Zu Fig. 56.
q ist der Luftwiderstand den der rollende Körper erleidet, an welchem 4 Kräfte wirken.
Hier ist Rg die rollende Reibung
Rg/R ist der Reibungscoeffizien
Fig. 57.
v = 0
Bei v = 0 muss der Vordertheil sich wieder senken, weil S vor S' liegt.
Gleichgewichtslage bei gleichförmiger Geschwindigkeit.
Zufällige momentane Gleichgewichtslage bei gleichförm. Geschwindigkeit.
Fig. 58.
Zu Fig. 58.
D' = g
g = D
Je tiefer der Schwerpunkt liegt um so weniger haben kleine Änderungen der Lage des Angriffspunktes a zu sagen, das sieht man leicht aus der Betrachtung der jeweilig sich ergebenden Kräftepaare.
Hier ist der Querschnittswiderstand mit in Betracht gezogen. (Q)
S ist der Schwerpunkt, das Flächengewicht ist hier noch nicht berücksichtigt.
Zu S. 60.
Fig. 59 a (zu X)
für q = 0



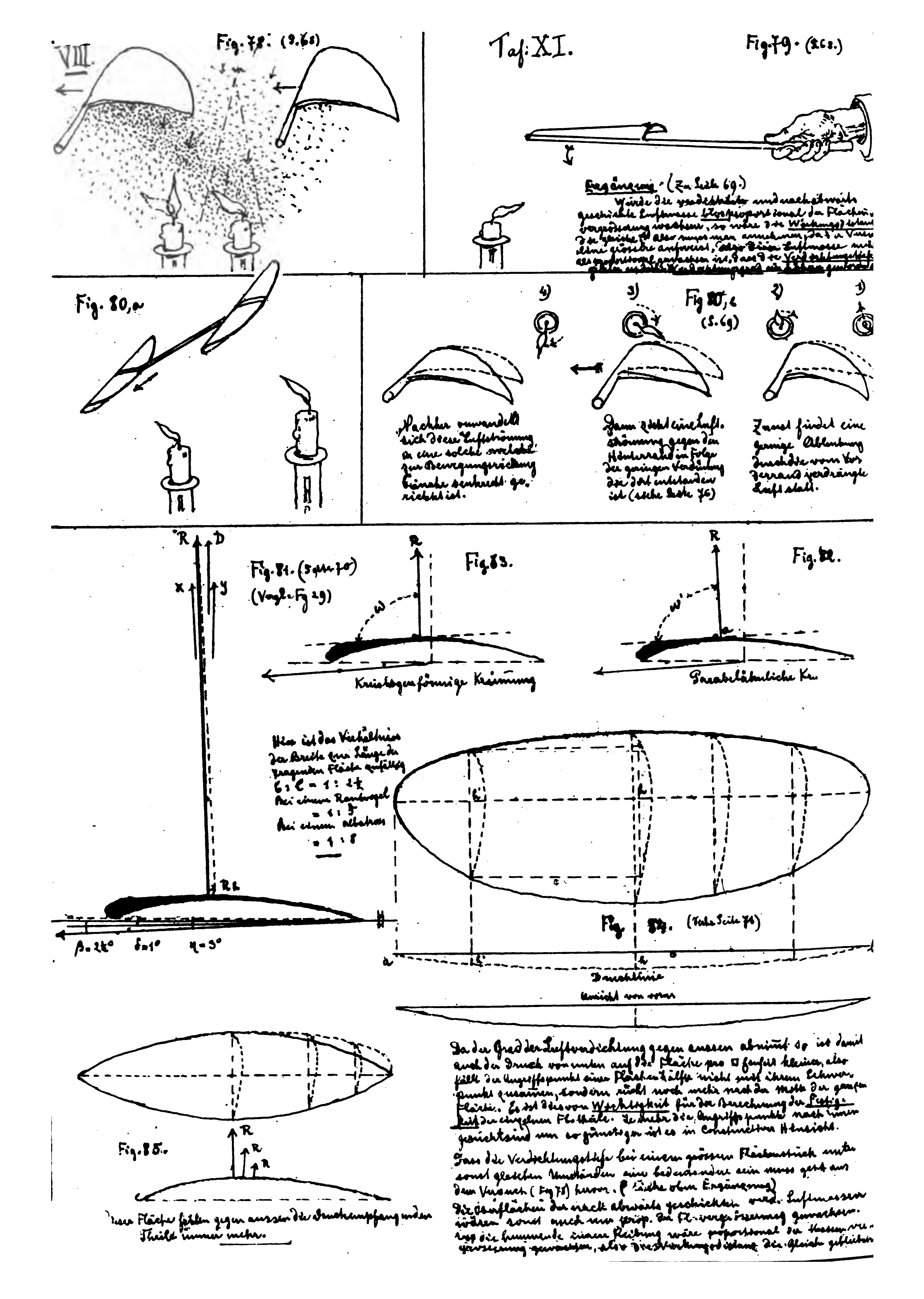
VII
Taf: XIII.
Fig. 59.
(Zu Seite 57)
R'a > Ra
R > R'
Fig. 59a
Fig. 60
Wind
Segelstellung
Sowie (a) etwas weiter zurückliegen würde, würde der Apparat nach vornen kippen.
Fig. 61.
Zu (S. 60.) u. (S. 62)
mit hoch liegendem Schwerpunkt.
Vertikale Lenkung durch vor u. zurückschieben der Flächen resp. der Flügel.
Fig. 61 (S. 58)
Verschiedene Typen lenkbarer Fallschirme
Mit tiefliegendem Schwerpunkt.
Fig. 62.
W = Ra + Q
Bei dieser Gleichgewichtslage muss die Verlängerung von D durch C gehen. Der Schwerpunkt darf seine Lage also in senkrechter Richtung beliebig ändern ohne dass das Gesamtgewicht gestört wird.
Diese 3 Momente sind im Gleichgewicht.
Es ist angenommen dass die Oberseite der Schwanzfläche wegen dem bei Figur (60) angeführten Grund etwas nach abwärts geneigt ist.

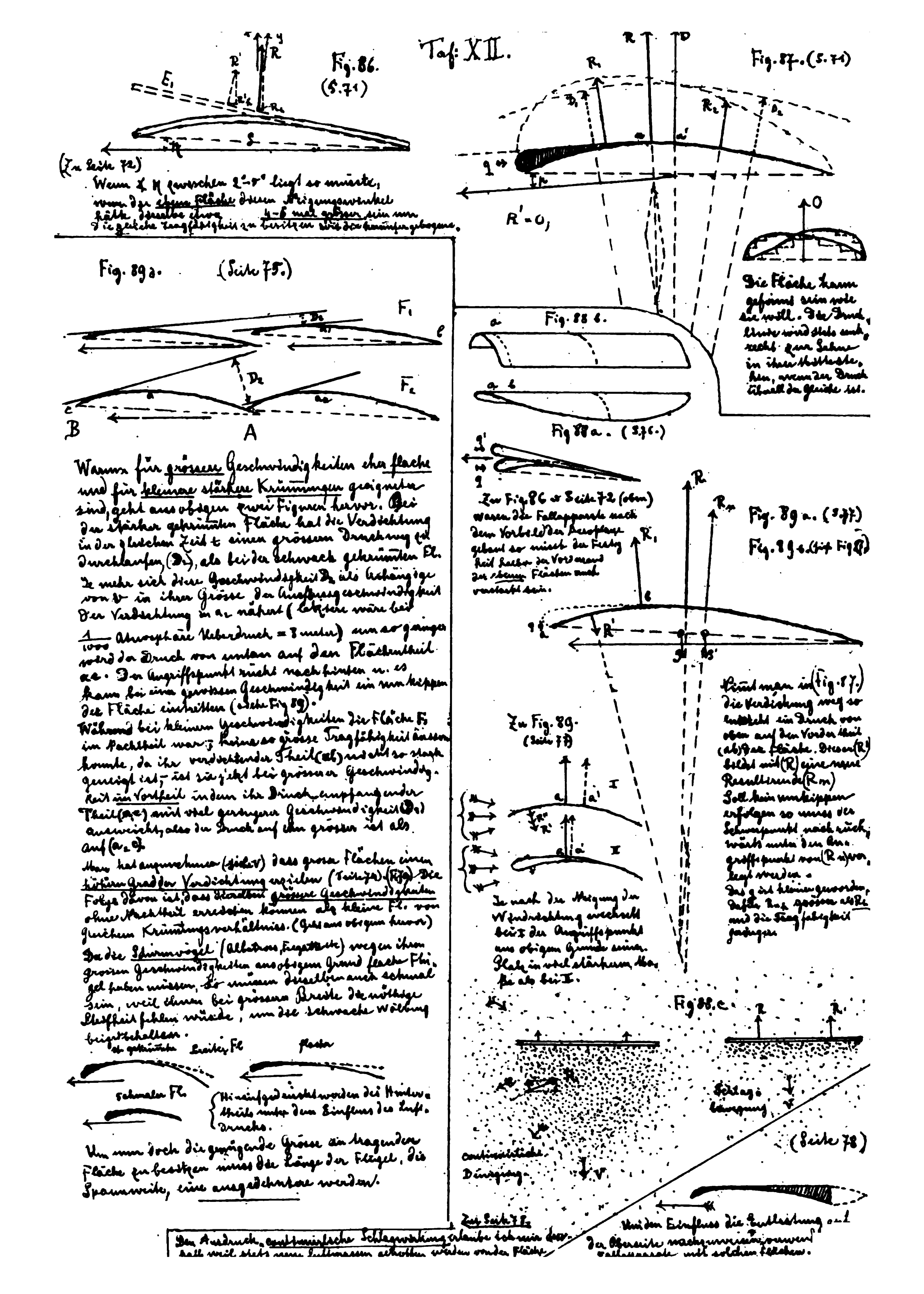


VII.
Fig. 63.
(S. 60)
Taf. IX.
Hinterfläche.
ablenkende Kraft
Zu Fig. 65.
R
Liegt hier der Schwerpunkt
hoch, so kippt der Apparat
um.
S
g
Fig. 65
C
Damit die Rumpfaxe in der Bahn-
linie bleibt, müsste gegen hinten eine
senkrechte Fläche vorhanden sein. (Ist der Rumpf
länglich u. von grossem Durchmesser so dient er diesem Zweck.)
Fig. 64.
(S. 61)
R_1
C_1
R_2
C_2
g'
Wie man sieht
ist es dabei gleich-
giltig ob der Schwer-
punkt hoch oder
tief liegt.
Fig. 66.
Fig. 67. (S. 62)

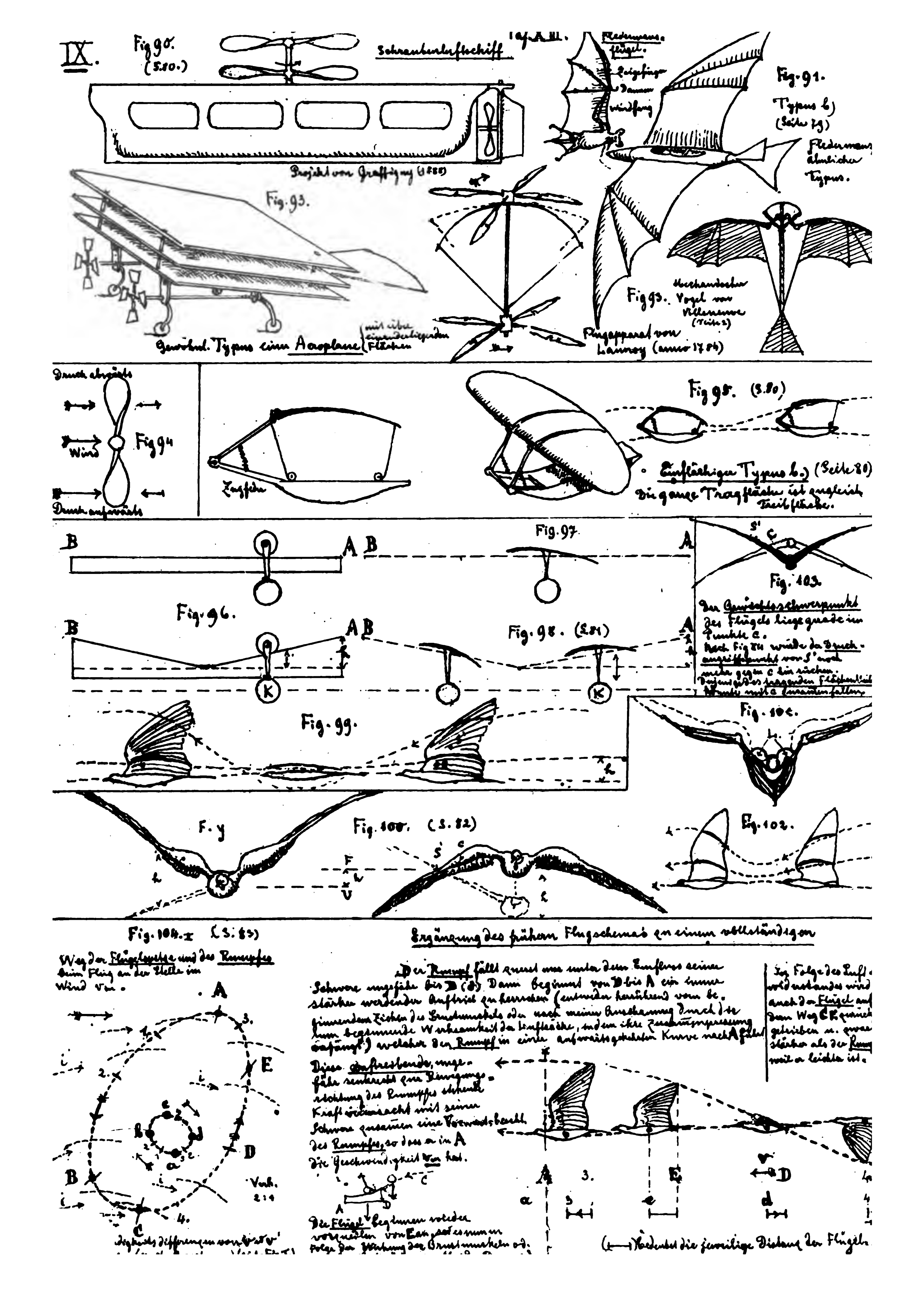


VII
v=0
Fig. 68.
(S. 68)
Taf: X.
v=10–20 meter
VIII.
Fig. 69.
Fig. 70.
Fig 71.
z. Fig. 71
z. Fig. 69.
Fig. 73.
Fig. 74.
(S. 67.)
Fig. 75.
Fig. 76.
(S. 68.)
Zu Fig. 73 (Seite 67)
(x, y)
(y)
F. X.
F. Y.
Macht man Versu-
che mit obigen 2
Apparaten (X,Y) so wer-
den bei Fy ähnliche
Erscheinungen in Bezug auf Flugbahn und Trag-
fähigkeit zu Tage wie sie der Apparat mit ge-
trennten Flächen (Fig 69) zeigte.
Wäre der Ueberdruck von der Oberseite auf ac grös-
ser, so würde ein Umkippen die Folge sein. (siehe Y)
Dieser einfache Versuch, bei welchem von einer Krüm-
mung der Flächen abgesehen wird, zeigt deutlich, dass
das Wesentliche einer tragenden Fläche darin bestehen
muss, dass sie aus einem Luft comprimirenden (ac) u.
einem Druck empfangenden Stück (bc) bestehe, dass
allerdings aus oben erklärten Gründen die Wirksam-
keit der trag. Fl. noch erhöht wird, wenn diese 2 Fl.-
Stücke gekrümmt sind u. allmälig in einander übergehen

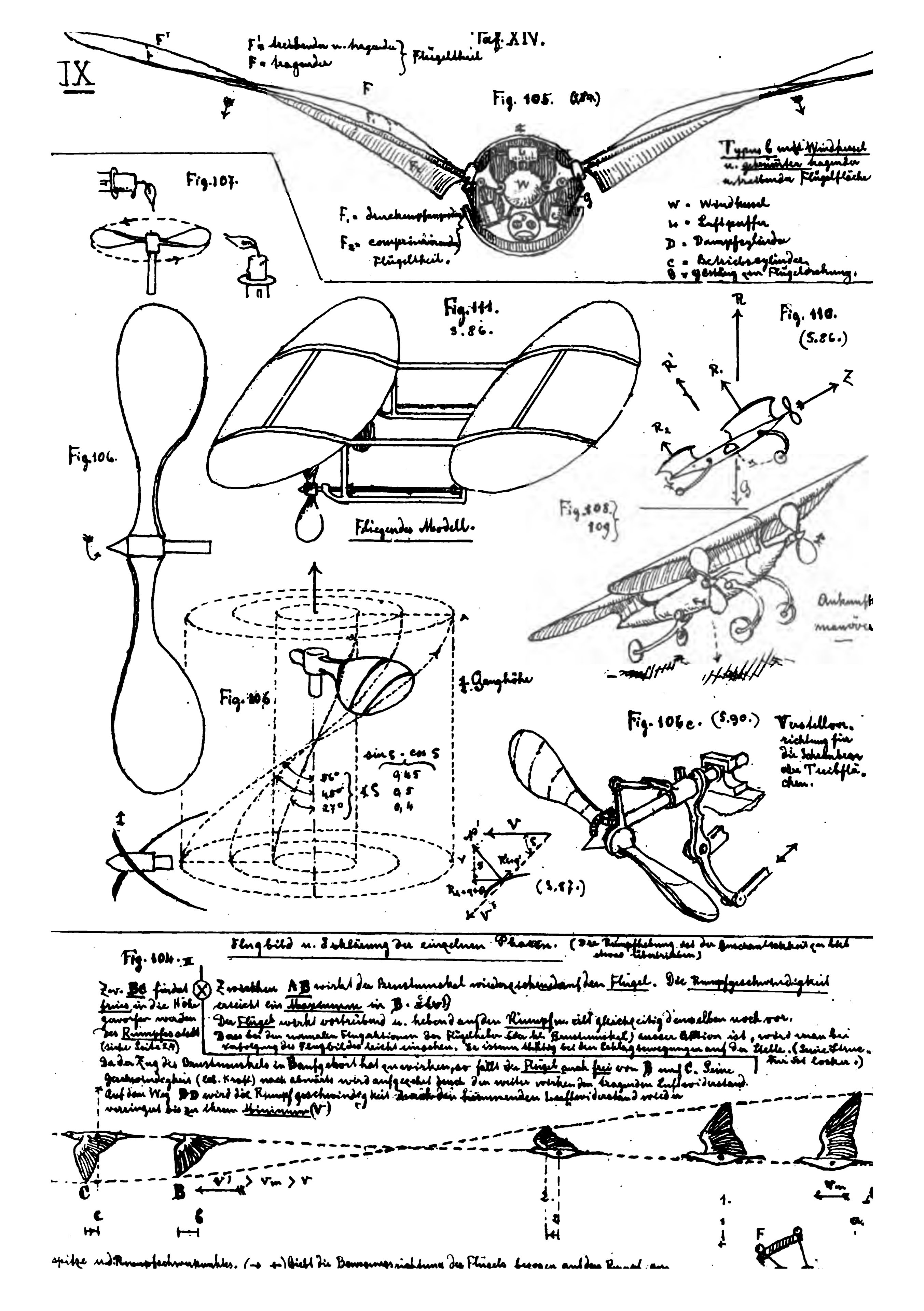

Taf: XI.
Fig. 78. (S. 68)
Fig. 79. (S. 68.)
Ergänzung. (Zu Seite 69.)
Fig. 80, a
Fig 80, b (S. 69)
4)
3)
2)
1)
Nachher verwandelt sich diese Luftströmung in eine solche welche zur Bewegungsrichtung beinahe senkrecht gerichtet ist.
Dann zeigt eine Luftströmung gegen den Hinterrand in Folge der geringen Verdichtung die dort entstanden ist (siehe Seite 76)
Zuerst findet eine geringe Ablenkung durch die vorn vor gedrängte Luft statt.
R
D
x
y
Fig. 81. (Seite 70)
(Vergl. Fg 29)
Fig. 83.
Fig. 82.
W
Kreisbogenförmige Krümmung
Parabelähnliche Kr
Hier ist das Verhältnis der Breite zur Länge der tragenden Fläche auffällig
b : l = 1 : 2½
Bei einem Raubvogel = 1 : 5
Bei einem Albatros = 1 : 8
β = 2½°
δ = 1°
η = 3°
Fig. 84. (Siehe Seite 76)
Ansicht von vorn
Fig. 85.
R
Da der Grad der Luftverdichtung gegen aussen abnimmt so ist damit auch der Druck von unten auf die Fläche pro □ kleiner, also fällt der Angriffspunkt einer Flächenhälfte nicht mit ihrem Schwerpunkt zusammen, sondern rückt noch mehr nach der Mitte der ganzen Fläche. Es ist dies von Wichtigkeit für die Berechnung der Festigkeit der einzelnen Flächentheile. Je näher die Angriffspunkte nach innen gerückt sind um so günstiger ist es in constructiver Hinsicht.
Dass die Verdichtungstiefe bei einem grösseren Flächenstück unter sonst gleichen Umständen eine bedeutendere sein muss geht aus dem Versuch (Fig 78) hervor. (Siehe oben Ergänzung)


Taf: XII.
Fig. 86.
(S. 71)
Fig. 87. (S. 71)
R' = 0;
Fig. 89 a. (Seite 75.)
Fig. 88 b.
Fig 88 a. (S. 76.)
Fig. 89 a. (S. 77)
Zu Fig. 89.
Fig 88. c.
(Seite 78)
Zu Seite 78



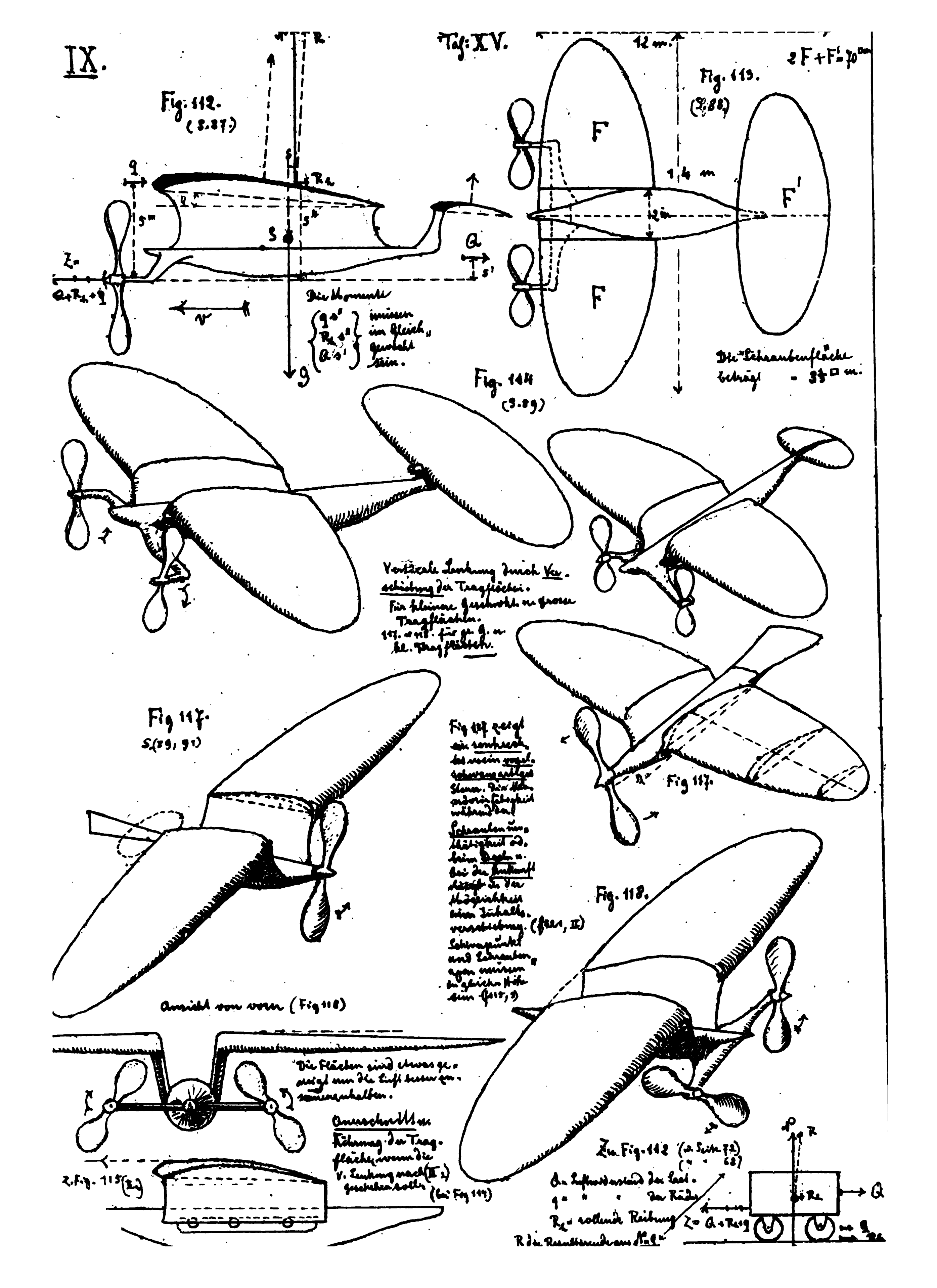


IX.
Fig. 90.
(S. 80.)
Schraubenluftschiff
Projekt von Graffigny (1888)
Fig. 91.
Typus b)
(Seite 79)
Fledermaus-ähnlicher Typus.
Fig. 93.
Fig. 93.
Mechanischer Vogel von Villeneuve
Flugapparat von Launoy (anno 1784)
Fig. 94
Wind
Zugfeder
Fig. 95. (S. 80)
Einflächiger Typus b.) (Seite 80)
Die ganze Tragfläche ist zugleich Treibfläche.
Fig. 96.
Fig. 97
Fig. 98. (S. 81)
Fig. 103.
Fig. 99.
Fig. 101.
Fig. 100. (S. 82)
Fig. 102.
Fig. 104. x (S. 83)
Ergänzung des frühern Flugschema's zu einem vollständigen
A
B
C
D
E

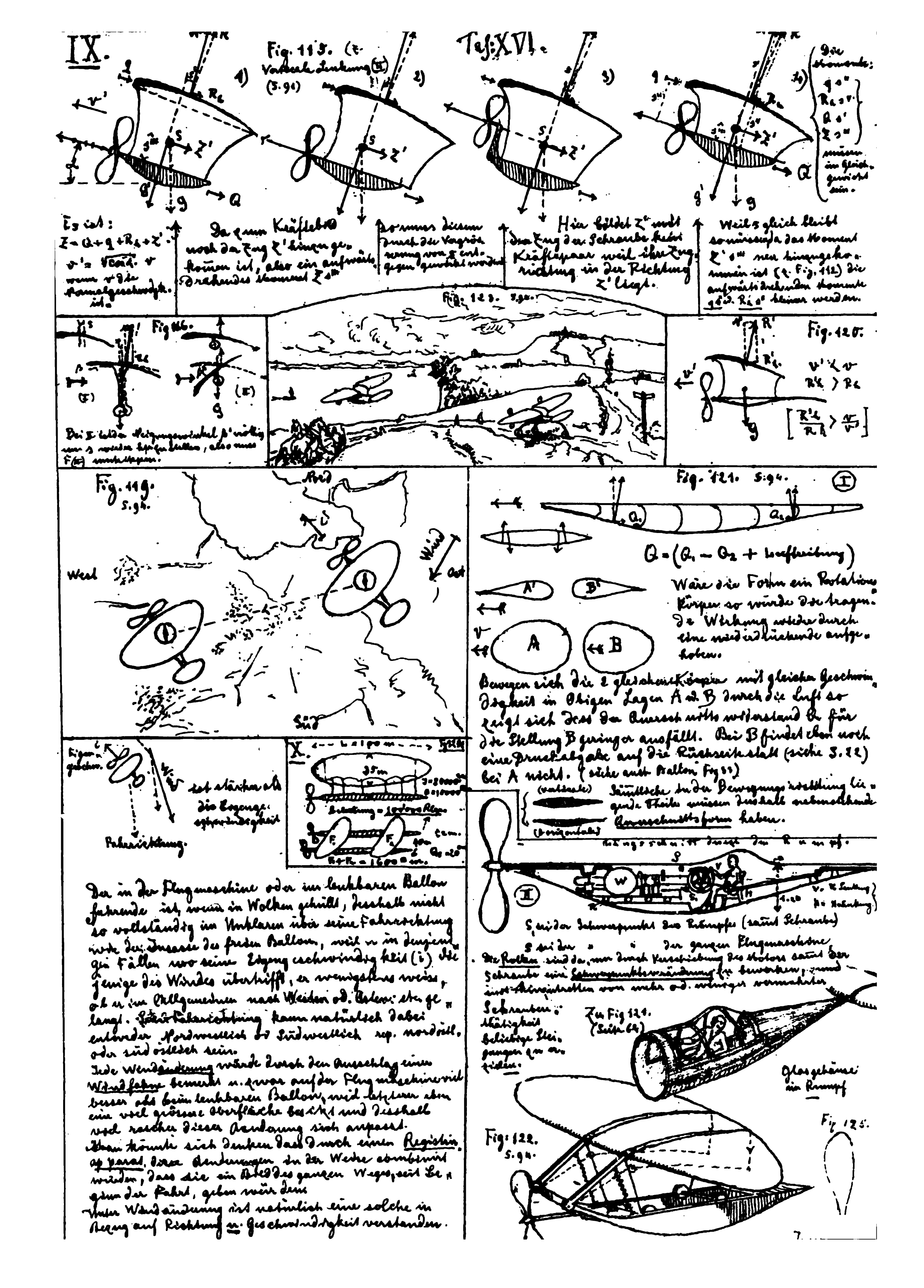


Taf. XIV.
IX
Fig. 105.
W = Windkessel
D = Dampfzylinder
C = Betriebszylinder
Fig. 107.
Fig. 111.
S. 86.
Fig. 110.
(S. 86.)
Fig. 106.
Fliegendes Modell.
Fig. 108. 109
Fig. 106c. (S. 90.)
sin s · cos s
56°
45°
27°
0,45
0,5
0,4
(S. 87.)
Fig. 104. II





IX.
Taf: XV.
Fig. 112.
(S. 87)
Fig. 113.
2 F + F' = 70
F
F
F'
12 m
4.4 m
2 m
Fig. 114
(S. 89)
Vertikale Lenkung durch Verschiebung der Tragflächen.
Fig 117.
S.(89, 91)
Fig 117.
Fig. 118.
Ansicht von vorn (Fig 118)
Zu Fig. 112



IX.
Taf: XVI.
Fig. 116.
Fig. 120.
Fig. 119.
S. 94.
Nord
West
Süd
Wind
Ost
Fig. 121. S. 94.
Q = (Q1 − Q2 + Luftreibung)
Fig: 122.
S. 94.
Fig. 125.
Glasgehäuse im Rumpf




LIBRARY OF CONGRESS
0 013 528 172 4